A. Spînu

Protecția instalațiilor electrice de joasă tensiune

68

colecția electricianului

editura tehnică

În ediția a doua a lucrării, revizuită și completată, sînt prezentate ultimele tipuri de siguranțe și întreruptoare automate de joasă tensiune fabricate în țară (cu datele lor constructive, caracteristicile tehnice și de protecție), alături de tipurile mai vechi de aparate, prezentate și în prima ediție, ale căror caracteristici tehnice și de protecție au fost actualizate.

De asemenea, sînt prezentate în detaliu criteriile de realizare a protecțiilor selective ale liniilor aeriene, ale cablurilor, ale rețelelor de distribuție, ale motoarelor electrice, ale transformatoarelor, ale condensatoarelor și ale instalațiilor de iluminat. Noua ediție cuprinde în plus un capitol care tratează calculul curenților de scurtcircuit în rețelele de joasă tensiune, completat cu cîteva exemple numerice.

Cartea se adresează electricienilor care execută și exploatează instalații de iluminat și forță, de joasă tensiune.

Controlul științific: Ing. **Petre Columbeanu**
Redactor: Ing. **Paulina Dumitrescu**
Tehnoredactor: **Maria Ionescu**
Coperta: Arh. **Valentin Vișan**

Prefață

Instalațiile electrice de joasă tensiune tratate în prezenta lucrare cuprind rețelele publice și instalațiile interioare ale tuturor categoriilor de consumatori, cu tensiunea nominală maximă de 500 V.

În ansamblul instalațiilor electroenergetice, instalațiile de joasă tensiune constituie ultimul element prin care sînt alimentați consumatorii de putere mică sau medie. Acești consumatori pot fi împărțiți în două categorii principale:

— consumatori casnici;
— consumatori industriali.

Ambele categorii de consumatori necesită o funcționare fără întreruperi, pretențiile în această direcție fiind în continuă creștere.

Întreprinderile industriale moderne sînt utilate cu instalații tehnologice automatizate, cu o productivitate ridicată. Întreruperile în alimentarea cu energie electrică, totale sau parțiale, produc perturbații importante, determinînd pagube prin reducerea producției, rebuturi sau deteriorări de utilaje.

Consumatorii casnici, a căror dotare cu aparate electrocasnice este în continuă creștere, resimt întreruperile prin reducerea gradului de confort și limitarea unor activități locale.

Categoriile intermediare de consumatori, cum sînt marile instituții și centre comerciale, pot ajunge în situația de întrerupere a activității, cu toate repercusiunile posibile.

Problema creşterii siguranţei în alimentarea consumatorilor constituie o preocupare permanentă pentru întreprinderile constructoare de echipamente, institutele de proiectare şi întreprinderile de exploatare.

Căile principale pentru atingerea acestui scop sînt următoarele:

— ameliorarea performanţelor şi a calităţii aparatajului şi materialelor izolante;

— alegerea unor configuraţii optime ale reţelelor şi dimensionarea corectă a elementelor instalaţiilor;

— alegerea corectă a instalaţiilor de protecţie şi automatizare;

— execuţia şi întreţinerea îngrijită a instalaţiilor.

Dintre măsurile enumerate, instalaţiile de protecţie au un rol important, care nu este estimat totdeauna la justa lui valoare. Rolul lor poate fi atît de prevenire a unor defecte (cum ar fi în cazul suprasarcinilor), cît mai ales de separare selectivă a instalaţiei defecte de restul reţelei. Prin alegerea potrivită a instalaţiilor de protecţie se poate limita posibilitatea apariţiei unor defecte şi, în cazul apariţiei acestora, se poate limita la minimum numărul consumatorilor deconectaţi.

Tehnica protecţiei instalaţiilor de joasă tensiune nu dispune, din considerente economice, de aparate pretenţioase, ci numai de siguranţe fuzibile şi întreruptoare automate. Scopul lucrării este de a descrie aceste aparate, insistînd asupra curbelor caracteristice şi a performanţelor, precum şi de a stabili criteriile pentru alegerea lor corectă, într-o serie de scheme tipice de reţele publice şi instalaţii industriale.

Autorul

1. Siguranţe fuzibile

1.1. Consideraţii generale

Construcţiile siguranţelor de joasă tensiune se pot împărţi în patru categorii mari:

— siguranţe deschise cu mîner;
— siguranţe tubulare deschise;
— siguranţe tubulare închise;
— siguranţe închise cu mediu de stingere.

Siguranţele deschise se caracterizează printr-o construcţie simplă, însă performanţele lor sînt coborîte în privinţa capacităţii de rupere, a stabilităţii caracteristicii de protecţie şi a pericolului pe care îl prezintă pentru instalaţii şi personalul manevrant.

Siguranţele închise prezintă o construcţie ameliorată, cu o capacitate de rupere mai ridicată, însă caracteristicile de protecţie nu sînt pe deplin satisfăcătoare.

Performanţele optime sînt atinse în prezent de siguranţele închise cu mediu de stingere (nisip de cuarţ). Ele se caracterizează printr-o mare capacitate de rupere, care la construcţiile perfecţionate ajunge pînă la 100 kA_{ef}. De asemenea, caracteristicile de protecţie pot fi menţinute suficient de stabile, în limita unei benzi de dispersie admisibile. Arderea siguranţei are loc fără nici o manifestare exterioară (optică sau acustică), astfel încît corespunde unui optim în privinţa securităţii contra incendiului şi al protecţiei muncii.

1.2. Siguranţe fuzibile fabricate în ţară

1.2.1. *Siguranţe deschise cu mîner*

Siguranţele unipolare cu mîner de bachelită sînt prevăzute cu cuţite sau furci de contact. Elementul fuzibil este constituit dintr-o lamelă ştanţată, de zinc electrolitic cu puritatea de 99,95%. Forma şi dimensiunile fuzibilelor, în funcţie de curentul nominal, sînt reprezentate în fig. 1.1 şi în tabelul 1.1. Fuzibilele se construiesc pentru

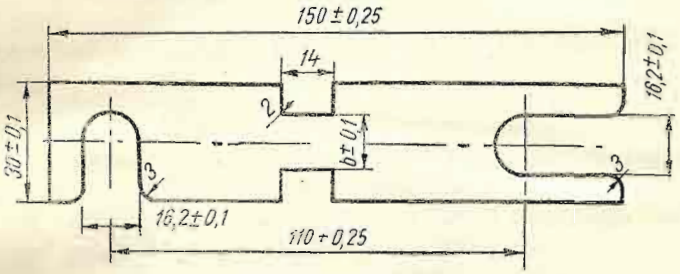


Fig. 1.1

Tabelul 1.1

Dimensiunile fuzibilelor lamelare de zinc

Curentul nominal A	Lăţimea *b* mm	Grosimea *e* mm	Secţiunea mm
100	5	0,5	2,5
125	8	0,5	4
160	12	0,5	6
200	17	0,5	8,5
225	8	1	8
260	10	1	10
300	13	1	13
350	5	2	10

curenţi nominali între 100 şi 350 A şi respectă condiţiile de topire la curenţi de suprasarcină conform STAS 4173-53 [3] pentru siguranţe normale (fără întîrziere) şi anume:

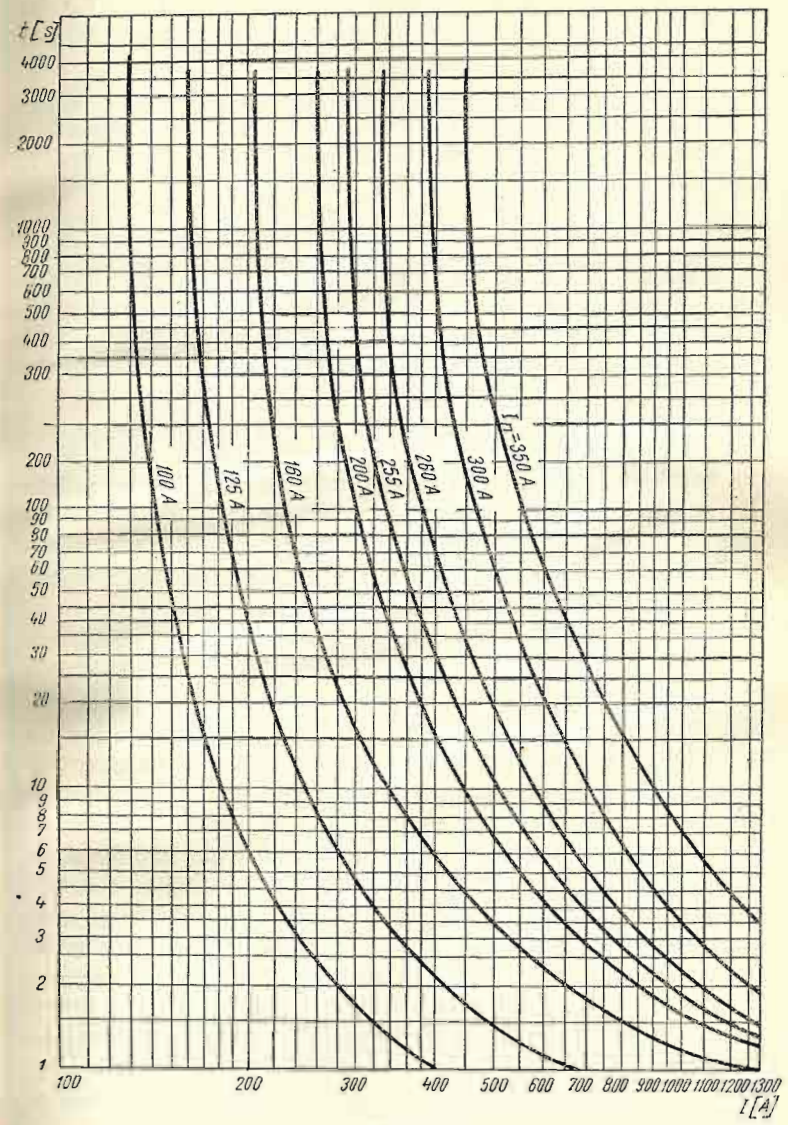


Fig. 1.2

— nu se topesc în 1 h, la un curent egal cu 1,3 I_n;
— se topesc în mai puțin de 1 h, la un curent egal cu 1,6 I_n.

Curentul maxim admisibil de rupere al acestor siguranțe este de 1 kA_{ef} la tensiunea de 500 V și cos $\varphi=0,6$. La tensiuni mai mici curenții admisibili de rupere cresc, însă valorile respective nu sînt indicate.

Curbele caracteristice de protecție (timpul de topire al fuzibilelor în funcție de valoarea curentului) sînt reprezentate în fig. 1.2, după prospectul fabricii furnizoare [6]. Se observă că, caracteristicile sînt trasate numai pînă la curenți cu puțin peste 1 kA și timpi de topire mai mari de 1 s, în concordanță cu performanțele garantate ale acestor fuzibile de tip deschis.

În condițiile concrete din instalații, aceste siguranțe trebuie să întrerupă curenți de scurtcircuit de valori mult mai mari decît cele garantate. Astfel, în cazul unei rețele alimentate de un transformator de 250 kVA, 6000/400 V, curentul maxim de scurtcircuit are valoarea de aproximativ 7 kA_{ef}, deci de șapte ori mai mare decît curentul de rupere maxim admis.

Pentru clarificarea fenomenelor care au loc la arderea acestor siguranțe în domeniul curenților mari de scurtcircuit, autorul a efectuat o serie de cercetări experimentale. Probele au urmărit atît ridicarea caracteristicilor de protecție, cît și verificarea efectelor exterioare care au loc la arderea siguranțelor. Pentru ridicarea caracteristicilor s-a utilizat o stație de încercare capabilă să debiteze curenți pînă la 15 kA, la o tensiune de 220 V și la un cos φ impus de circuitele de limitare.

Curbele caracteristice medii obținute sînt reprezentate în fig. 1.3. Trebuie menționat că în ordonată s-a reprezentat *timpul total de întrerupere* care se compune din timpul de încălzire și fuziune al fuzibilului și timpul de ardere al arcului electric. Această mențiune s-a făcut întrucît în mod normal în toate caracteristicile de fabrică ale siguranțelor, în ordonată se trece timpul de topire al fuzibilelor.

La numeroase probe efectuate s-a constatat o dispersie destul de mare a punctelor măsurate, datorită în special timpului variabil de ardere al arcului electric și uneori din cauza nepreciziei de ștanțare a lamelelor fuzibile.

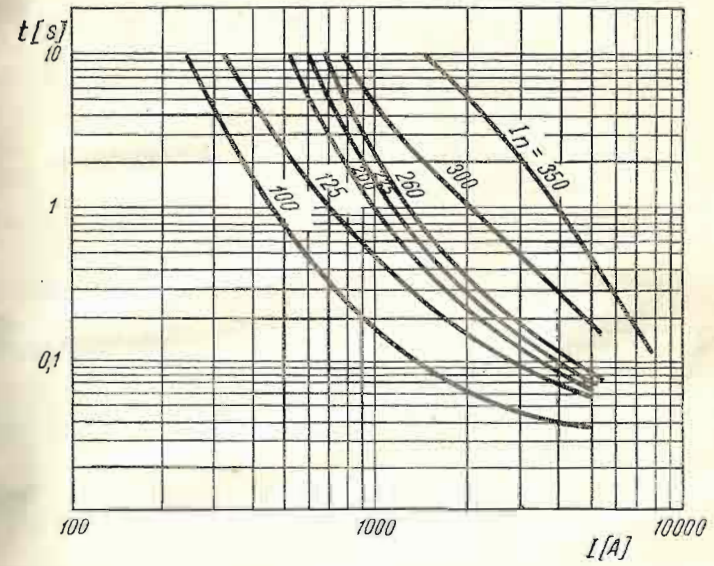


Fig. 1.3

În urma probelor efectuate s-a putut constata că la curenți de scurtcircuit care depășesc 3 . . . 4 kA la tensiunea de 220 V, arderea siguranțelor este însoțită de efecte deosebit de violente (zgomot puternic, degajări de fum și împroșcări de vapori metalici sau particule metalice incandescente). Din această cauză trebuie luate măsuri speciale pentru izolarea siguranțelor plasate pe faze diferite, pentru a evita sărirea arcului electric de la o fază la alta și provocarea unui scurtcircuit între faze, la tablou.

1.2.2. *Siguranţe tubulare deschise*

Acest tip de siguranţă este alcătuită dintr-un tub de porţelan prevăzut la capete cu două cuţite de contact (fig. 1.4). Tensiunea nominală a acestor siguranţe este de 500 V, iar curentul nominal maxim al fuzibilului este de 200 A. Elementul fuzibil se confecţionează din sîrmă de argint şi se prinde cu şuruburi la cele două capete ale siguranţei. Calibrarea fuzibilului în funcţie de curentul nominal este indicată în tabelul 1.2.

Capacitatea de rupere a acestui tip de siguranţă este mai mare decît a siguranţei cu lamele de zinc, întrucît arcul electric evoluează în interiorul tubului. Totuşi la curenţi de scurtcircuit mari arcul electric este suflat în exterior pe la extremităţile tubului, iar acesta se poate sparge din cauza şocului de temperatură şi presiune. Pentru evitarea scurtcircuitelor între faze, direct la tablou, se recomandă o izolare între faze prin pereţi despărţitori. Fabrica constructoare nu precizează curentul maxim admisibil de rupere şi nici caracteristicile de protecţie ale acestor siguranţe.

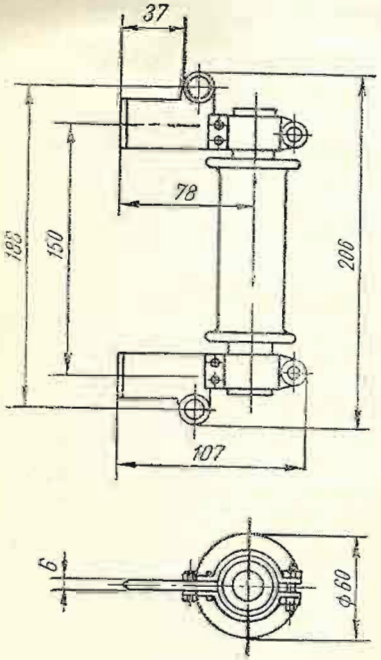


Fig. 1.4

În ţara noastră, siguranţele tubulare nu au căpătat decît o utilizare limitată, mai mult în vechile instalaţii industriale.

Tulabel 1.2

Dimensiunile fuzibilelor pentru siguranţe tubulare

Curentul nominal A	Numărul de fire	Diametrul firului mm	Secţiunea fuzibilului mm²
60	2	0,7	0,770
80	1	1	0,785
100	1	1,3	1,320
125	2	1	1,570
160	2	1,1	1,900
200	2	1,3	2,640

1.2.3. *Siguranţe tubulare închise*

Aspectul constructiv al acestei siguranţe este reprezentat în fig. 1.5. Tubul protector este confecţionat din fibră sau din pertinax căptuşit în interior cu fibră sau plexiglas. Fuzibilul este din tablă de zinc electrolitic, cu mai multe crestături şi găuri care definesc zonele de topire. Etanşarea siguranţei este realizată prin capace filetate la ambele capete, montate cu garnituri de azbest.

Aceste siguranţe se caracterizează printr-o capacitate de rupere superioară tipurilor anterioare. Arcul electric cu temperatură ridicată, ajungînd în contact cu peretele tubului, produce o degajare intensă de gaze care măresc presiunea interioară şi uşurează astfel stingerea arcului.

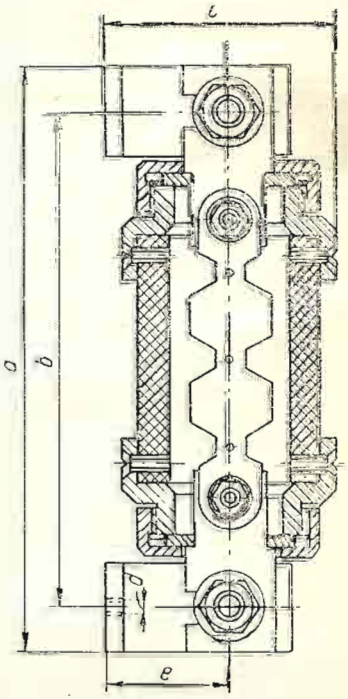


Fig. 1.5

Conform normei interne de fabrică, siguranţele de 30 ... 60 A au o capacitate de rupere de 1,5 kA_{ef} şi cele de 80 ... 600 A de 10 kA_{ef}.

Cu toate că siguranţele sînt etanşe, ruperea curenţilor mari poate fi uneori însoţită de manifestări exterioare sau chiar de explozia tubului. Întrucît nici o întreprindere din ţară nu execută fuzibile ştanţate de zinc, pentru aceste siguranţe, în practică fuzibilele se improvizează şi nu se poate conta pe o anumită caracteristică de protecţie. Aceste siguranţe au fost utilizate mai ales în tablourile capsulate ale instalaţiilor industriale.

1.2.4. *Siguranţe închise cu mediu de stingere*

Aceste siguranţe se caracterizează prin performanţe tehnice ridicate, avînd o bună stabilitate a caracteristicilor de protecţie şi o apreciabilă capacitate de rupere. Ele pot forma baza unui sistem de protecţie selectiv şi pot funcţiona în bune condiţii în instalaţii cu curenţi mari de scurtcircuit.

Siguranţe unipolare cu filet. Acest tip de siguranţă are o mare răspîndire în ţara noastră pentru instalaţii de iluminat şi forţă, în domeniul curenţilor nominali de la 6 la 100 A.

Patroanele acestor siguranţe se execută în trei variante de dimensiuni, în funcţie de curentul nominal, conform STAS 4197-67 [8]:

— varianta D II: 2—4—6—10—16—20—25 A;
— varianta D III: 35—50—63 A;
— varianta D IV H: 80—100 A.

În fig. 1.6 sînt reprezentate, cu titlu de exemplu, cotele patroanelor de 16,63 şi 100 A.

Corpul patronului este executat din porţelan, ceea ce asigură o bună rezistenţă la temperaturile ridicate care apar în timpul funcţionării sau la arderea fuzibilului.

La topirea fuzibilului, vaporii metalici ionizaţi difuzează repede printre particulele de nisip şi arcul electric se stinge fără a produce manifestări exterioare.

Condiţiile de calibrare a elementelor fuzibile, precum şi domeniul timpilor de topire în zona multiplilor mici ai curenţilor faţă de curentul nominal sînt reglementate prin STAS 452-66 [4].

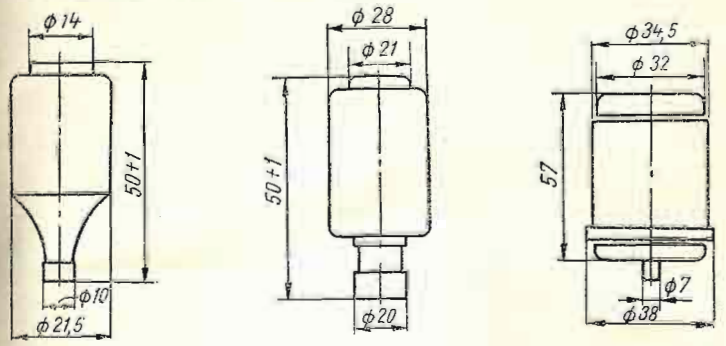


Fig. 1.6

În tabelul 1.3. sînt date valorile curenţilor de încercare la topire şi a rezistenţei la topire.

În cazul cînd fuzibilul este străbătut de un curent egal cu 1,75 I_n, timpii de topire la întreaga serie de patroane nu trebuie să fie mai mici de 10 s.

Tabelul 1.3

Criteriile de calibrare a fuzibilelor, la siguranţele unipolare cu filet

Curentul nominal al patronului I_n A	Timpul de încercare h	Curentul de încercare la topire, multiplu al lui I_n	Curentul de încercare a rezistenţei la topire, multiplu al lui I_n
2—25	1	1,75	1,4
35—63	1	1,6	1,3
80—100	2	1,6	1,3

Pentru un curent egal cu 7 I_n, timpii de topire trebuie să fie mai mici decît valorile indicate în tabelul 1.4.

Pentru multiplii mari ai curenţilor nominali, timpii de topire nu se normează. În mod obişnuit curbele caracteristice de protecţie sînt indicate de fabrica producătoare pe baza încercărilor de laborator.

Capacitățile de rupere nominale ale siguranțelor, la 500 V c.a. și cos $\varphi=0{,}3$ sînt:

4 kA_{ef} pentru siguranțele de 2—25 A;
8 kA_{ef} pentru siguranțele de 35—63 A;
16 kA_{ef} pentru siguranțele de 80 și 100 A.

Tabelul 1.4

Curentul nominal, I_n A	Timpul de topire t s
2— 25	0,15
35— 63	0,20
80 și 100	0,35

Norma prevede că siguranțele trebuie să funcționeze satisfăcător, fără să se deterioreze și fără să pericliteze mediul înconjurător, pentru orice valoare a curentului cuprins între curentul minim de topire și capacitatea nominală de rupere.

Nu este specificată capacitatea de rupere la tensiuni nominale mai reduse (380, 220 sau 120 V). O serie de probe efectuate de autor cu siguranțe de la 6 la 25 A, la tensiunea de 120 V, au arătat că capacitatea de rupere în aceste condiții este mai mare de 6 kA_{ef} (curent virtual de scurtcircuit).

Pentru fabricarea în țară a unei serii unitare de siguranțe unipolare cu filet, cu caracteristici și performanțe ridicate, ICPE a efectuat cercetările necesare și a elaborat prototipurile încă din 1965. Din punctul de vedere al caracteristicilor se dinsting:

— siguranțe rapide, pentru protecția instalațiilor obișnuite:

— siguranțe lente, pentru protecția motoarelor electrice, transformatoarelor și condensatoarelor.

În fig. 1.7 și 1.8 sînt reprezentate curbele caracteristice de protecție pentru siguranțele rapide, respectiv lente.

La curenți mari de scurtcircuit, aceste siguranțe au un efect limitator reprezentat în curbele din fig. 1.9. Astfel, admițînd, la locul de montaj al unei siguranțe rapide de

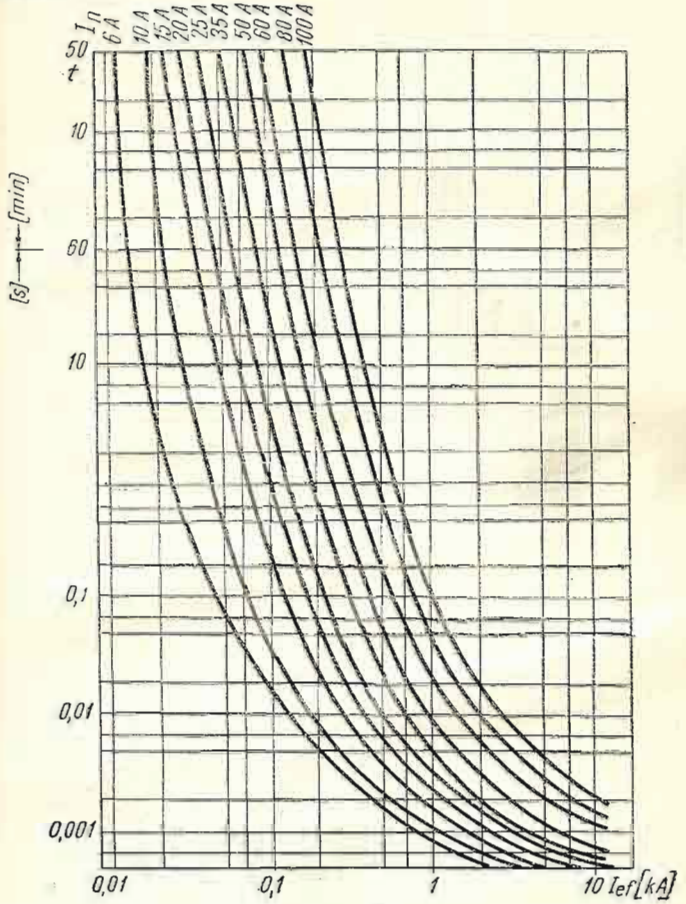


Fig. 1.7

60 A, un curent de scurtcircuit $I_{sc}=20\ kA_{max}$, siguranța limitează valoarea de vîrf a curentului la o valoare $I_s=4{,}4\ kA_{max}$. În acest fel solicitările dinamice și termice

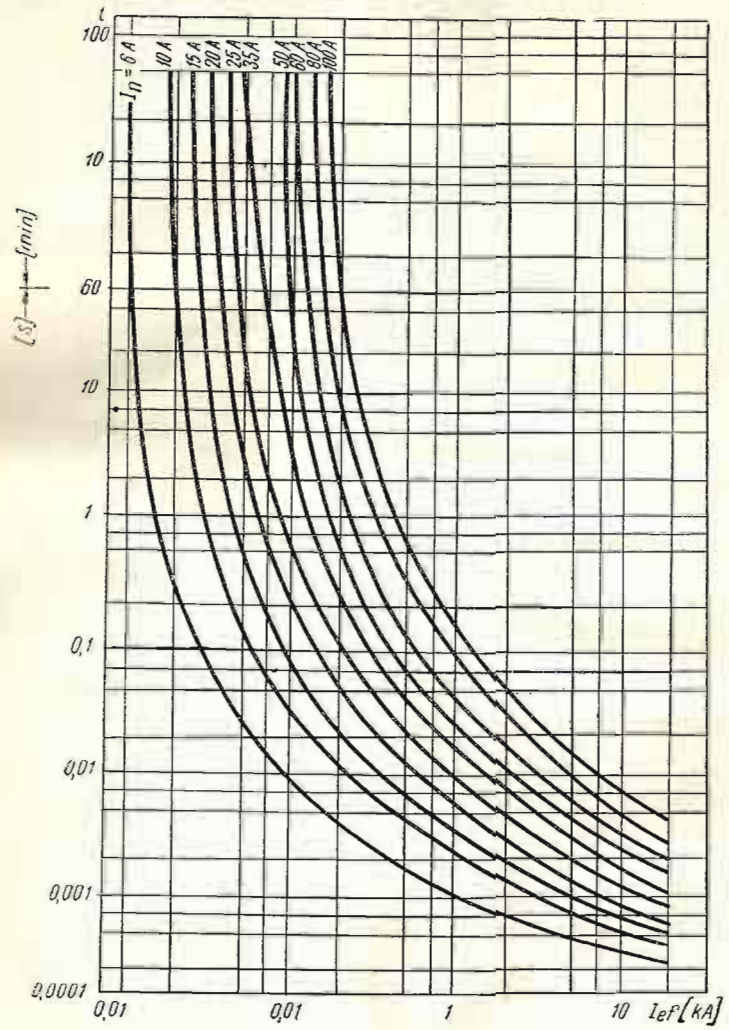

t
[s]
[min]
100
10
60
10
1
0,1
0,01
0,001
0,0001
I_n = 6 A
10 A
15 A
20 A
25 A
35 A
50 A
60 A
80 A
100 A
0,01
0,01
1
10
I_{ef} [kA]

Fig. 1.8

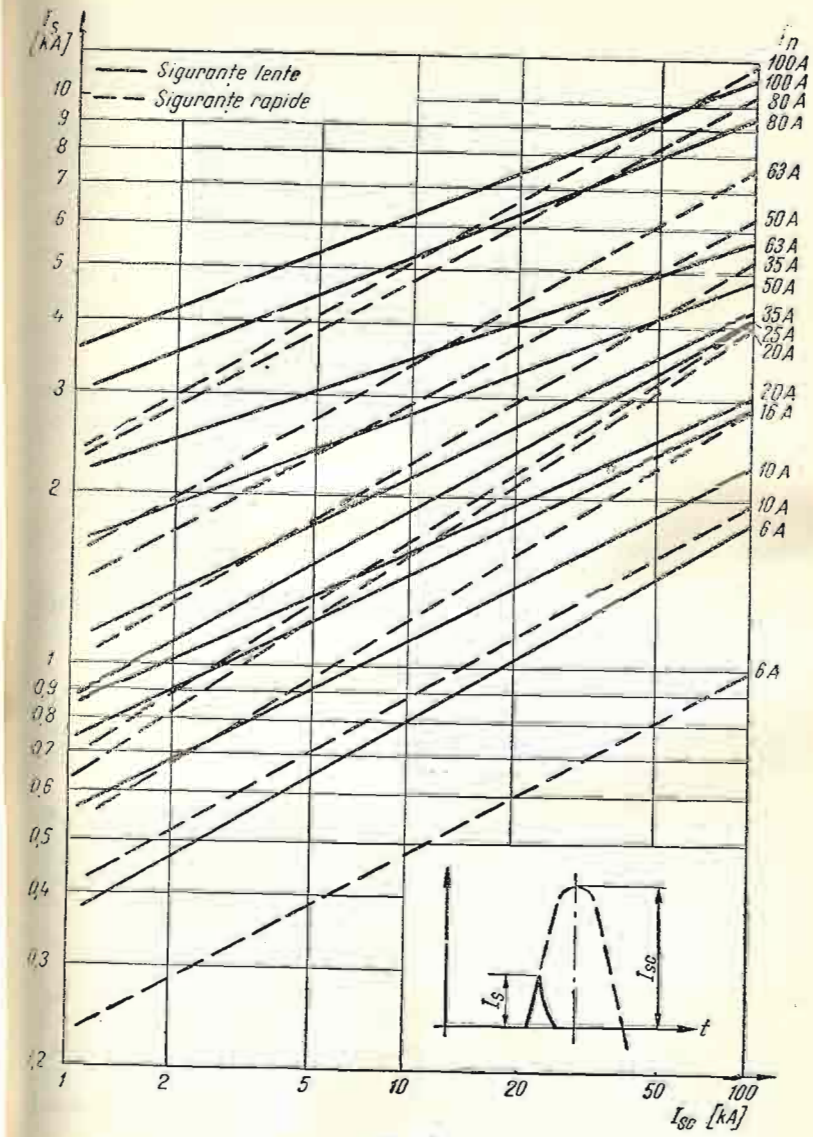

I_s [kA]
Siguranțe lente
Siguranțe rapide
I_n
100A
100A
80A
80A
63A
50A
63A
35A
50A
35A
25A
20A
20A
16A
10A
10A
6A
6A
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
1
2
5
10
20
50
100
I_{sc} [kA]
I_s
I_{sc}
t

Fig. 1.9

ale instalațiilor se reduc considerabil și se permite o dimensionare economică a acestora.

Siguranțe cu mare putere de rupere tip MPR. Acest tip de siguranțe se răspîndește rapid în țara noastră, înlocuind vechile tipuri deschise sau închise fără mediu de stingere. Prototipurile acestor siguranțe, determinarea curbelor caracteristice de topire și a capacității de rupere au fost executate de ICPE încă în 1962. Aceste siguranțe sînt de tipul cu caracteristică rapidă.

Elementul fuzibil este din bandă de argint de 0,25 pînă la 0,30 mm grosime. În anumite porțiuni ale benzii sînt practicate orificii pentru strangularea secțiunii, fixîndu-se punctele de topire la curenți mari de scurtcircuit. Funcționarea siguranței în domeniul curenților de suprasarcină este determinată de un aliaj cu temperatură redusă de topire, amplasat la mijlocul benzii.

Fuzibilul este închis într-un manșon izolant din porțelan, prevăzut la capete cu capace și cuțite de contact. Interiorul manșonului este umplut cu nisip de cuarț cu caracteristici determinate.

Scara curenților nominali corespunde recomandărilor CEI, iar caracteristicile de funcționare și capacitatea de rupere erau conforme VDE 0660/4-68 [13].

În fig. 1.10 sînt reprezentate forma și dimensiunile unei siguranțe de 315 A, iar în fig. 1.11 curbele caracteristice de producție ridicate experimental pentru întreaga serie.

Actuala fabricație a siguranțelor MPR corespunde prevederilor STAS 4173-67 [17]. Constructiv, ele se execută în trei variante de dimensiuni, în funcție de curentul nominal maxim al fuzibilului:

— mărimea I: 63— 80—100—125—160 A;
— mărimea II: 160—200—250—315 A;
— mărimea III: 315—400—500—630 A.

O primă verificare a caracteristicii de fuziune a fuzibilelor se referă la valorile indicate în tabelul 1.5. Fuzibilul siguranței trebuie să se topească în același interval la curentul mare de încercare.

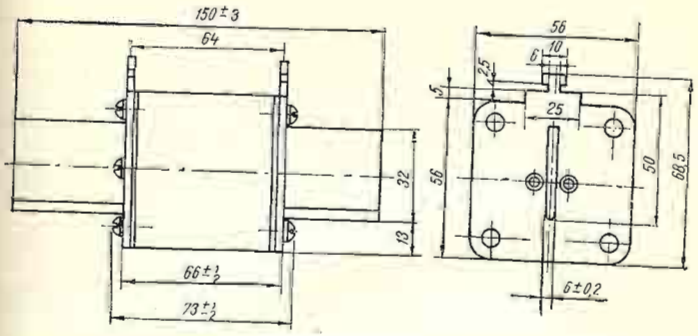


Fig. 1.10

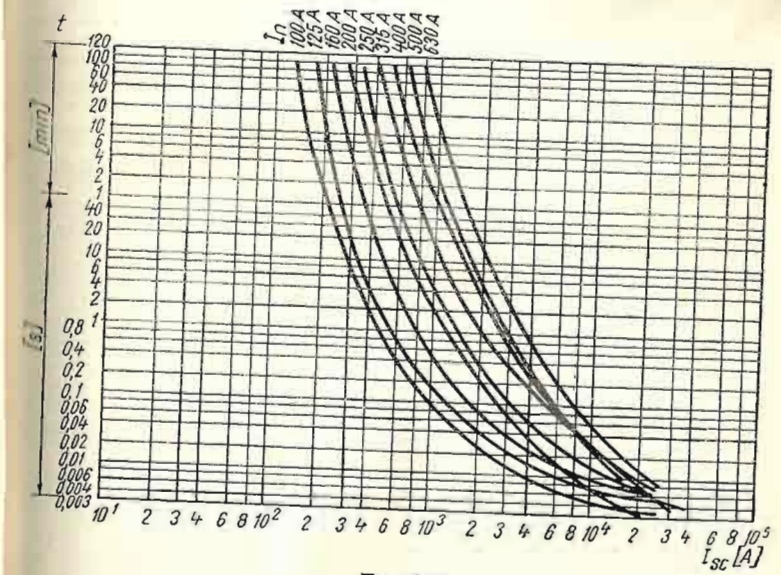


Fig. 1.11

Tabelul 1.5

Curentul nominal al fuzibilului A	Curentul mic de încercare A	Curentul mare de încercare A	Durata încercării, ore
I_n=63	1,3 I_n	1,6 I_n	1
63<I_n≤160			2
160<I_n≤400			3
400<I_n			4

Pentru curenţi de suprasarcină egali cu 2,5; 4 şi 6 I_n, se prescriu timpi de topire minimi şi maximi conform valorilor din tabelul 1.6.

Tabelul 1.6

Curentul nominal A	2,5 I_n		4 I_n		6 I_n	
	min. s	max. s	min. s	max. s	min. s	max. s
63	4	24	0,40	2	0,078	0,40
80	4,8	29	0,48	2,4	0,096	0,48
100	5,6	33	0,56	2,8	0,112	0,56
125	6,5	38	0,65	3,2	0,130	0,65
160	7,6	45	0,76	3,8	0,1.5	0,76
200	9	53	0,90	4,4	0,180	0,90
250	10,3	62,3	1,03	5,15	0,206	1,03
315	12,3	72,5	1,23	6,15	0,238	1,23
400	14,5	85,7	1,45	7,1	0,282	1,42
500	17	100	1,7	8,5	0,33	1,7
630	19,6	118,2	1,96	9,8	0,387	1,96

În privinţa capacităţii de rupere, toată seria de siguranţe MPR poate întrerupe un curent virtual de scurtcircuit (calculat la locul de instalare) egal cu 25 kA_{ef} la tensiunea nominală de 500 V şi cos φ=0,1 . . . 0,2.

1.3. Siguranţe fuzibile de fabricaţie străină

Ţinînd seama de nivelul de dezvoltare al reţelelor publice şi industriale, respectiv de existenţa unor curenţi mari de scurtcircuit şi de necesitatea unei protecţii cît mai selective, construcţia actuală a siguranţelor este orientată asupra tipului închis cu mediu de stingere.

Principalele construcţii se axează asupra două modele (utilizate şi în ţara noastră):

— siguranţe unipolare cu filet;

— siguranţe cu mare putere de rupere.

În privinţa alurii curbelor caracteristice de protecţie, siguranţele se pot împărţi în trei categorii principale:

— siguranţe cu caracteristică rapidă;

— siguranţe cu caracteristică lentă;

— siguranţe cu caracteristică lentă-rapidă.

Definirea noţiunilor „rapid" şi „lent" este indicată în prescripţii, admiţîndu-se, la aceeaşi valoare de curent, timpi mai mari de topire la siguranţele lente decît la cele rapide.

Siguranţele rapide au rolul principal de a limita la minimum posibil efectele termice şi dinamice ale curenţilor de scurtcircuit, în timp ce siguranţele lente au fost create în special pentru a suporta curentul de pornire al motoarelor asincrone cu rotorul în scurtcircuit.

În privinţa capacităţii de rupere, construcţiile moderne prezintă performanţe foarte ridicate. Principalele căi pentru obţinerea acestor rezultate sînt bazate pe utilizarea corpurilor ceramice din steatit (mai rezistent decît porţelanul) şi a soluţiilor tehnologice bine studiate. Aceste siguranţe pot să fie montate, fără nici un risc, în cele mai puternice instalaţii de joasă tensiune care pot fi întîlnite în prezent.

1.3.1. *Siguranțe unipolare cu filet*

Construcția și o serie de caracteristici funcționale ale acestui tip de siguranțe sînt reglementate prin prescripția VDE 0635/3.63 [9]. Tensiunea nominală maximă de funcționare este de 500 V, iar curentul nominal este de 200 A. Condițiile limită de topire a fuzibilelor sînt conform tabelului 1.7.

Tabelul 1.7

Condițiile limită de topire

I_n A	Timpul de încercare h	Curentul de încercare la topire multiplu al lui I_n	Curentul de încercare a rezistenței la topire, multiplu al lui I_n
2— 25	1	1,8	1,4
35— 63	1	1,6	1,3
80—200	2	1,6	1,3

Condițiile de probă pentru supracurenți mai mari sînt următoarele:

Tabelul 1.8

Timpii de topire

I_n A	Timpul de topire s
<4	0,05
4— 10	0,1
10— 25	0,15
25— 63	0,20
63—100	0,35
100—200	0,50

Siguranțe rapide:
— la 1,75 I_n, $t \leqslant 10$ s,
— la 7 I_n timpul de topire mai mic decît cel indicat în tabelul 1.8.

Siguranțe lente:
— la 5 I_n, $t \leqslant 6$ s;
— la 7 I_n, timpul de topire mai mare decît cel din tabelul 1.8.

Capacitatea minimă de rupere la tensiunea nominală și la cos $\varphi = 0{,}3$ este:
— pentru $I_n = 25$ A ... $I_{sc} = 4$ kA_{ef};
— pentru $I_n = 31{,}5$—63 A ... $I_{sc} = 8$ kA_{ef};
— pentru $I_n = 80$—200 A ... $I_{sc} = 16$ kA_{ef}.

Firma Siemens fabrică aceste siguranțe atît în varianta rapidă, cît și în cea lentă, sub denumirea de siguranțe Diazed.

Mărimea patroanelor este eșalonată în cinci categorii, în funcție de curentul nominal:

— mărimea I (mignon): 2—4—6—10—16—20—25 A;
— mărimea II (normal): 2—4—6—10—16—20—25 A;
— mărimea III : 35—50—63 A;
— mărimea IV : 80—100 A;
— mărimea V : 125—160—200 A.

Patroanele pentru mărimile II, III și IV au cotele practic identice cu cele fabricate în țara noastră.

În fig. 1.12 și 1.13 sînt date caracteristicile de protecție ale siguranțelor Diazed, varianta rapidă, respectiv lentă. Capacitatea de rupere, exprimată în kA_{ef}, la cos φ cuprins între 0,1 și 1 este indicată în tabelul 1.9.

Tabelul 1.9

Capacitatea de rupere a siguranțelor Diazed

I_n A	Capacitatea de rupere, în kA					
	220 V ~	220 V —	380 V ~	440 V —	500 V ~	500 V —
2—20	nelimitat					
25—63	nelimitat		70	100	70	70
80—125	70	100	70	100	50	50
160—200	50	100	50	100	40	40

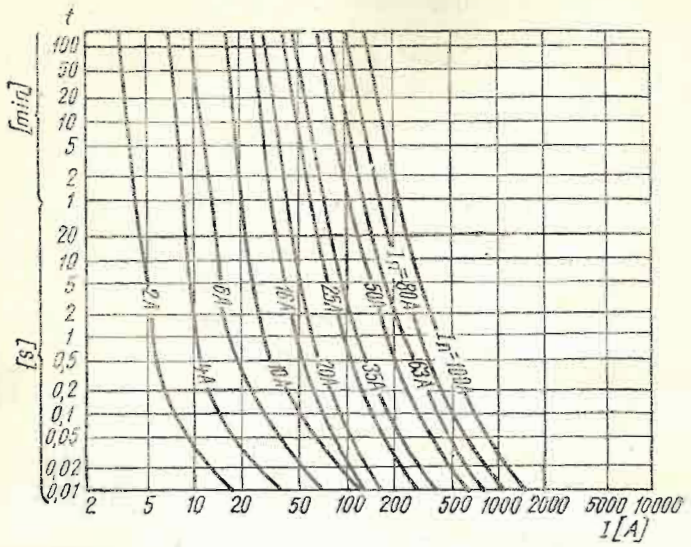


Fig. 1.12

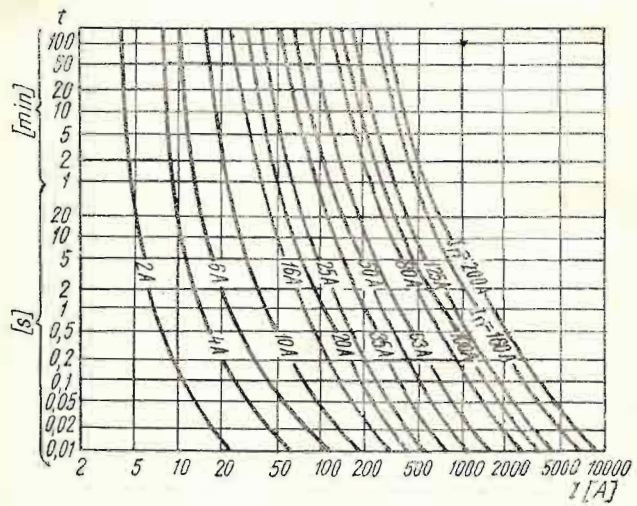


Fig. 1.13

Este de remarcat că aceste performanţe sînt mult superioare faţă de prevederile VDE, în unele cazuri valorile fiind chiar nelimitate.

1.3.2. *Siguranţe cu mare putere de rupere (NH)*

Prescripţia VDE 0660/4.68 [13] prevede pentru aceste tipuri de siguranţă, următoarele:

— tensiunea nominală maximă 500 V;
— curentul nominal între 35 şi 600 A;
— condiţii limită de topire conform tabelului 1.10;
— capacitate de rupere 25 kA_{ef}, la cos $\varphi = 0{,}4$;
— domeniu impus de timpii de topire pentru valori de curenţi egali cu 2,5—4—6 I_n, domeniile fiind diferite pentru siguranţele rapide şi cele lente (tabelul 1.11).

Tabelul 1.10

Condiţii limită de topire

I_n A	Curentul minim de probă A	Curentul maxim de probă A	Timpul de probă h
35—60	1,3 I_n	1,6 I_n	1
⩾80	1,3 I_n	1,6 I_n	2

La valori mai mari ale multiplilor de curent, timpii de topire nu se normează, alura caracteristicii fiind stabilită de fabrica producătoare.

Din această categorie fac parte siguranţele tip NT produse de firma AEG.

Siguranţele se realizează în trei variante de dimensiuni, conform normelor DIN 43620:

Tabelul 1.11

Timpii de topire ai siguranţelor cu mare putere de rupere (NH), în s

I A	Siguranţe lente						Siguranţe rapide					
	$2{,}5\ I_n$		$4\ I_n$		$6\ I_n$		$2{,}5\ I_n$		$4\ I_n$		$6\ I_n$	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
35	20	80	2	5,8	0,42	1,2	2,7	16	0,27	1,4	0,054	0,27
60	28	110	2,8	8,5	0,60	1,7	4	24	0,40	2	0,078	0,40
80	35	130	3,5	10,5	0,72	2	4,8	29	0,48	2,4	0,096	0,48
100	40	150	4	12	0,83	2,4	5,6	33	0,56	2,8	0,112	0,56
125	47	165	4,7	14	0,96	2,8	6,5	38	0,65	3,2	0,130	0,65
160	55	190	5,5	16,5	1,15	3,3	7,6	45	0,76	3,8	0,155	0,76
200	65	215	6,5	19,5	1,30	3,8	9	53	0,90	4,4	0,180	0,90
225	70	230	7	21	1,40	4,2	9,6	58	0,96	4,8	0,195	0,96
260	76	250	7,6	23	1,55	4,6	10,6	64	1,06	5,3	0,21	1,06
300	85	270	8,5	25	1,7	5	12	70	1,2	6	0,23	1,2
350	95	300	9,5	28	1,9	5,6	13	78	1,3	6,5	0,26	1,3
430	110	330	11	32	2,2	6,4	15	90	1,5	7,5	0,30	1,5
500	120	365	12	36	2,4	7,2	17	100	1,7	8,5	0,33	1,7
600	135	405	13,5	40	2,7	8	19	114	1,9	9,5	0,38	1,9

— mărimea 1: 6—10—15—20—25—35—50—60—80—100—125—160—200 A;
— mărimea 2: 225—260—300—350—400 A;
— mărimea 3: 430—500—600 A.

Din punctul de vedere al caracteristicilor de protecţie, siguranţele NT sînt de tipul lent (fig. 1.14).

Efectul limitator al acestor siguranţe este reprezentat în fig. 1.15. În abscisă sînt trasate valorile eficace I_{sc} ale curentului de scurtcircuit (componenta periodică) în kA_{ef}, iar în ordonată valorile de vîrf I_s ale curentului de scurtcircuit, precum şi valorile de vîrf I_d ale curenţilor de trecere, ambele în kA_{max}.

Fie de exemplu I_{sc}=31 kA_{ef} curentul de scurtcircuit calculat, la locul de montare a unei siguranţe de 200 A.

Valoarea de vîrf minimă (în lipsa componentei aperiodice) are valoarea $I_s=2\ I_{sc}$=42,5 kA (ordonata 2).

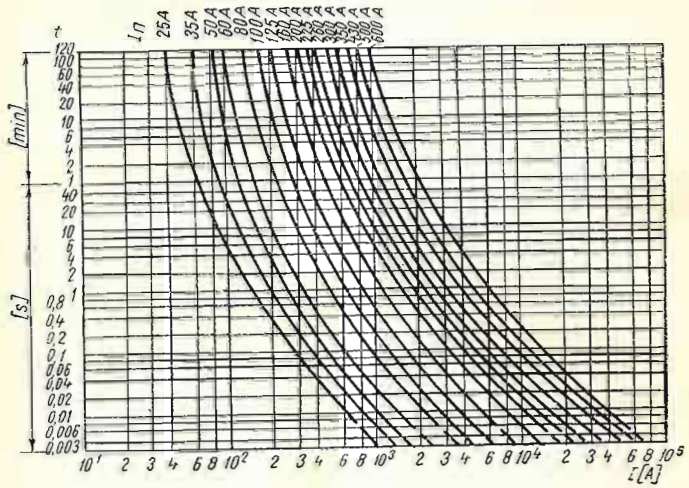


Fig. 1.14

Valoarea de vîrf maximă, admiţînd o componentă aperiodică de 40%, este $I_s=2\ I_{sc}\cdot 1{,}4$=60 kA (ordonata 1).

Siguranța de 200 A limitează curentul de scurtcircuit la valoarea de vîrf I_d=25 kA, cu care se verifică stabilitatea dinamică a instalației (ordonata 3).

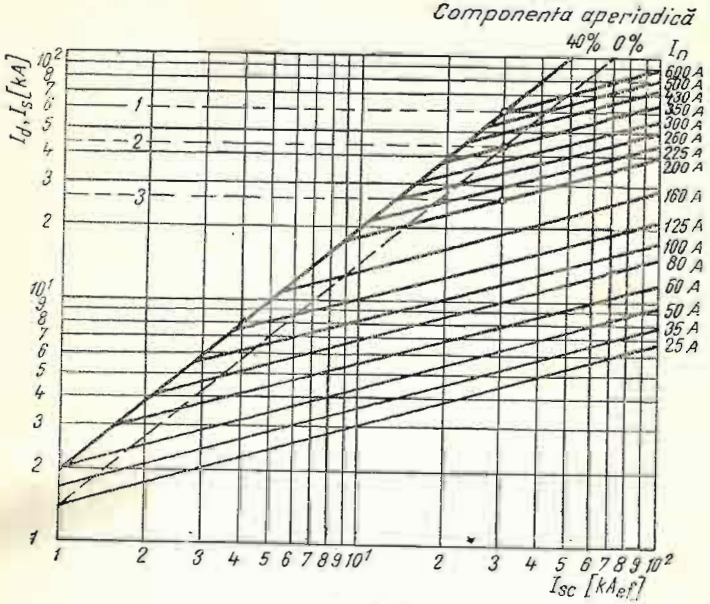


Fig. 1.15

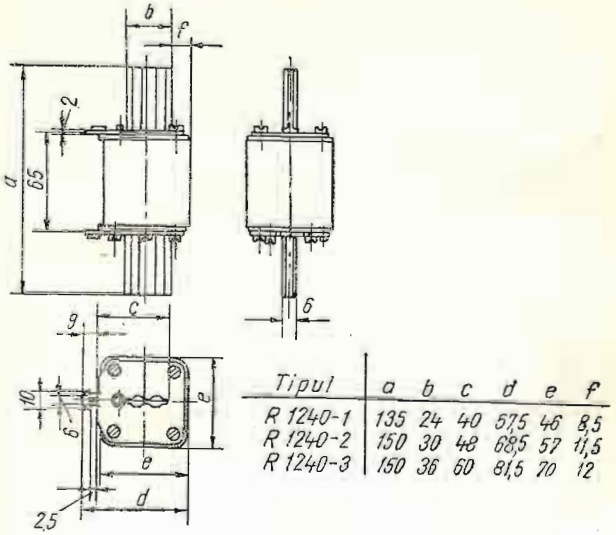
Capacitatea de rupere a siguranțelor NT, exprimată în kA_{ef}, este dată în tabelul 1.12.

Tabelul 1.12

Capacitatea de rupere a siguranțelor tip NT

I_n A	Curent alternativ			Curent continuu	
	220 V	380 V	500 V	220 V	
6—260	> 100	> 100	> 100	> 100	> 100
300—430	90	80	70	90	70
500—600	75	65	50	75	50

Valorile garantate sînt mult superioare față de curenții de scurtcircuit care apar în practică, astfel încît utilizarea acestor siguranțe nu pune probleme din acest punct de vedere.



Tipul	a	b	c	d	e	f
R 1240-1	135	24	40	57,5	46	8,5
R 1240-2	150	30	48	68,5	57	11,5
R 1240-3	150	36	60	81,5	70	12

Fig. 1.16

Un alt model de siguranță de acest gen îl constituie tipul R 1240 produs de firma Siemens.

Din punct de vedere dimensional, se fabrică, de asemenea, trei tipuri, conform DIN 43620 (fig. 1.16):

— mărimea 1: 36—50—63—80—100—125—160—200 A;
— mărimea 2: 36—50—63—80—100—125—160—200—224—250—300—355 A;
— mărimea 3: 300—355—425—500—600 A.

Curbele caracteristice de protecție sînt reprezentate în fig. 1.17.

Trebuie remarcată alura deosebită a acestor caracteristici. În domeniul de suprasarcină curba corespunde

tipului lent, pretîndu-se la protecţia motoarelor electrice cu pornire directă sau a instalaţiilor cu vîrfuri pronunţate de sarcină. În schimb în domeniul curenţilor de scurtcircuit caracteristica este rapidă, reducînd la minim solicitările instalaţiilor.

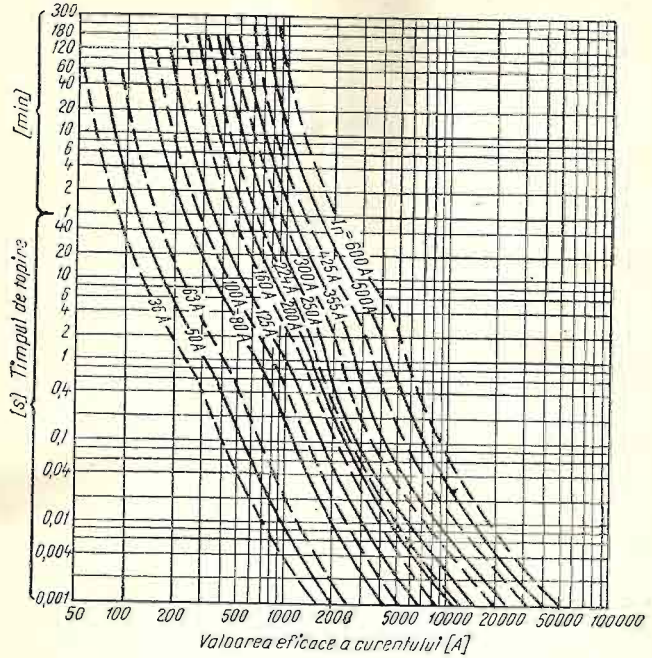


Fig. 1.17

În cazul curenţilor mari de scurtcircuit (peste 30—40 I_n) aceste siguranţe au efect limitator, conform curbelor reprezentate în fig. 1.18.

Cu titlul de exemplu s-a considerat un curent de scurtcircuit I_{sc}=20 kA_{ef} la locul de montare a siguranţei. Admiţînd o componentă aperiodică de 50%, valoarea de vîrf este $I_s = \sqrt{2} \cdot 20 \cdot 1{,}5 =$ =42 kA (punctul *A*). În cazul unei siguranţe de 200 A, valoarea de vîrf nu depăşeşte 14,5 kA (punctul *B*).

Capacitatea de rupere a întregii serii de siguranţe este mai mare de 100 kA_{ef} la 500 V c.a. sau 600 V c.c.,

clasîndu-se la nivelul performanţelor de vîrf ale tehnicii actuale.

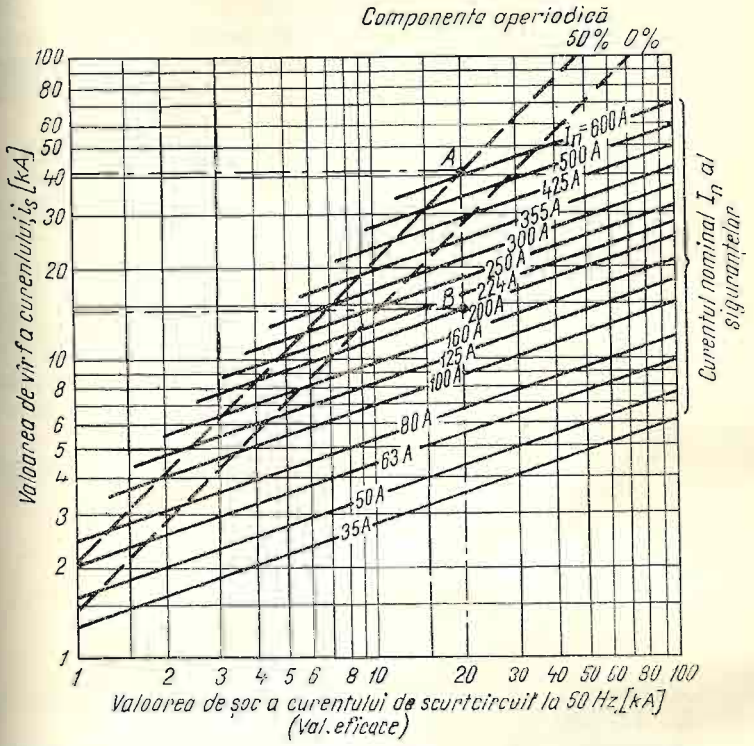


Fig. 1.18

2. Întreruptoare automate

2.1. Consideraţii generale

În instalaţiile electrice de joasă tensiune, şi în special în cele industriale, protecţia unor anumite elemente se realizează cu întreruptoare automate.

Această alegere este dictată de următoarele considerente principale:

— curentul nominal al instalației protejate este mai mare de 600 A, valoarea maximă pentru care se pot realiza în prezent siguranțe fuzibile; întreruptoarele automate moderne se fabrică pînă la curenți nominali de 8 000—10 000 A;

— în unele cazuri este necesar ca instalația întreruptă să fie repusă imediat sub tensiune, fapt care se realizează mai ușor cu întreruptoare automate decît prin înlocuirea siguranțelor arse;

— aparatul de protecție servește concomitent ca contactor pentru un regim de funcționare intermitent al aparatelor (mașini-unelte, instalații de automatizare tehnologică etc.);

— întreruptorul automat poate fi comandat și de alte protecții suplimentare ale aparatajului (relee de gaze, de temperatură, direcționale etc.);

— relee termice ale întreruptoarelor automate oferă o protecție mai bună contra suprasarcinilor decît siguranțele fuzibile.

2.2. Întreruptoare automate fabricate în țară

Construcția acestora este reglementată de STAS 553-68, 4479-67 și 4480-68.

Aparatajul din această categorie se poate împărți în următoarele variante constructive distincte (în paranteze fiind indicate gamele curenților nominali):

— întreruptoare automate monopolare (25 A);

— contactoare automate în ulei tip DITU (25 ... 100 A);

— contactoare automate în aer:

  — tip DITA (25 ... 100 A);

  — tip AC 3 (10 ... 200 A);

— întreruptoare automate în aer:

  — tip DITA (350 ... 1000 A);

  — tip ISOL (100 ... 250 A);

  — tip AMT (200 ... 400 A);

  — tip OTOMAX (1000 ... 2500 A).

În continuare se va face o scurtă descriere a acestora, insistîndu-se asupra caracteristicilor de protecție.

2.2.1. *Întreruptoare automate monopolare*

Sînt destinate pentru protecția diferitelor instalații interioare monofazate. Construcția miniaturală și plată permite asamblarea unor grupe de întreruptoare pe o șină de montaj. Acționarea manuală de închis — deschis se efectuează cu o mică tijă mobilă, iar declanșarea automată este asigurată de relee termice și electromagnetice, cu reglaj fix.

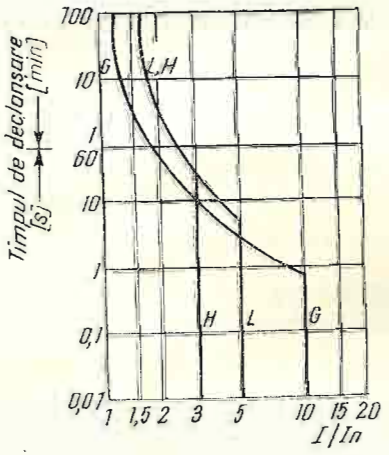


Fig. 2.1

Se execută cu următoarele caracteristici de declanșare (fig. 2.1) și game de curenți nominali ai releelor:

L — pentru circuite de lumină: 6, 10, 16, 25 A;

H — pentru circuite de prize: 10, 16, 25 A;

G — pentru circuite de forță: 6, 10, 16, 25 A.

Curbele caracteristice sînt adaptate la specificul consumului din circuite, mai ales în privinţa şocurilor de curent produse de unele aparate.

Tensiunea nominală a întreruptorului este de 380 V, iar curentul nominal de 25 A. Capacitatea de rupere este de 1 500 A, la 380 V şi $\cos \varphi = 0{,}9$.

2.2.2. *Contactoare cu relee în ulei*

Aceste aparate poartă denumirea simbolică DITU (ultima literă are semnificaţia „ulei"). Domeniul lor principal de utilizare este protecţia motoarelor electrice cu tensiuni nominale pînă la 500 V.

Elementul activ este constituit dintr-un electromagnet de curent alternativ, a cărui armătură mobilă poartă un număr de patru contacte. Închiderea şi respectiv deschiderea întreruptorului se face prin aplicarea, respectiv întreruperea tensiunii la bobina electromagnetului, fiind deci un întreruptor cu bobină de reţinere.

Aparatele sînt realizate în construcţie închisă în carcasă de tablă, cu o cuvă demontabilă umplută cu ulei în care se află electromagnetul E_a şi contactele principale. În carcasa superioară se află bornele de legătură, releele termice R_t, comutatorul de acţionare şi bornele pentru racordul circuitelor de comandă de la distanţă.

Din punct de vedere dimensional şi al curentului nominal maxim, aparatele se execută în trei variante, în cadrul fiecăreia existînd un număr mai mare de subvariante în funcţie de curentul nominal al releelor termice:

— DITU-25: 1—1,5—2—3—5—7,5—10—15—20—25 A;
— DITU-63: 25—40—60 A;
— DITU-100: 40—60—80—100 A.

Domeniul de reglaj al releelor termice este cuprins între 0,6 ... 1 I_n (de exemplu releul de 10 A se poate regla continuu între 6 şi 10 A).

Schema circuitelor primare şi secundare ale întreruptoarelor DITU este redată în fig. 2.2.

Capacitatea de rupere a acestor întreruptoare la tensiunea de 500 V este:

— DITU-25: 300 A, la $\cos \varphi = 0{,}4$;
— DITU-63: 600 A, la $\cos \varphi = 0{,}4$;
— DITU-100: 1200 A, la $\cos \varphi = 0{,}4$.

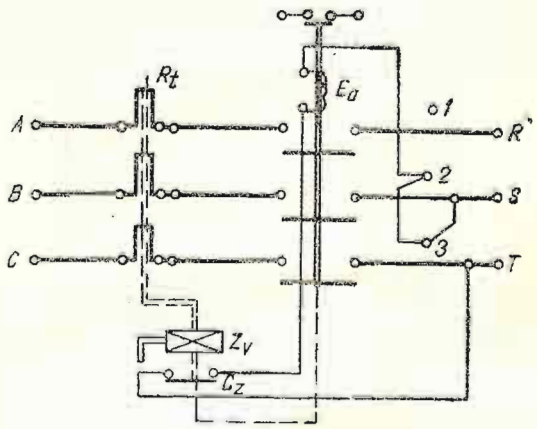


Fig. 2.2

Aceste întreruptoare nu au o protecţie contra scurtcircuitelor, aceasta realizîndu-se de obicei cu siguranţe montate separat. Această soluţie are avantajul măririi substanţiale a capacităţii de rupere a întregului ansamblu.

2.2.3. *Contactoare cu relee în aer*

Aceste aparate rezultă din combinaţia unor contactoare obişnuite cu un bloc de relee (termice sau electromagnetice).

O construcţie mai veche utilizează contactoarele tip DITA (litera finală semnifică „aer"), acţionate printr-un electromagnet de curent alternativ.

Protecţia se realizează printr-un bloc de relee, care cuprinde relee termice R_t şi relee electromagnetice rapide R_m.

Seria de contactoare cuprinde trei variante dimensionale şi un număr mai mare de subvariante pentru releele termice şi electromagnetice:

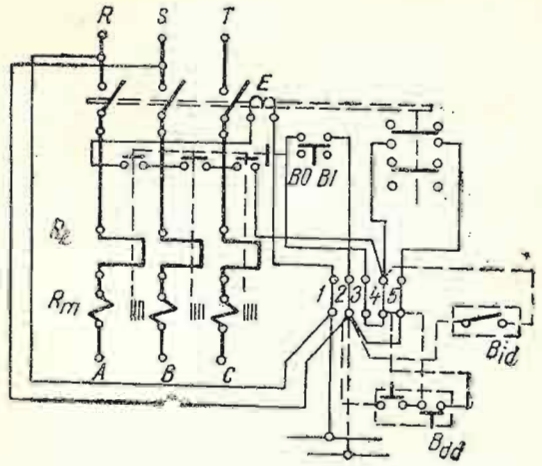


Fig. 2.3

— DITA-25: 1—1,5—2—3—5—7,5—10—15—20—25 A;
— DITA-63: 40—60 A;
— DITA-100: 80—100 A.

Domeniul de reglaj al releelor termice este între 0,6 . . . 1, iar al celor electromagnetice între 5 . . . 10 ori curentul lor nominal.

În fig. 2.3 este reprezentată schema electrică a acestor contactoare, inclusiv circuitele de acţionare de la distanţă. Capacitatea de rupere a acestor aparate este:

— DITA-25: 400 A, la cos $\varphi=0,4$;
— DITA-63: 1 000 A, la cos $\varphi=0,4$;
— DITA-100: 1 200 A, la cos $\varphi=0,2$.

O construcţie mai nouă de contactoare cu relee utilizează contactoarele tip AC3 împreună cu un bloc de relee termice. Schema electrică este indicată în fig. 2.4.

Seria cuprinde şase variante dimensionale şi 26 subvariante pentru curenţii nominali ai releelor termice:

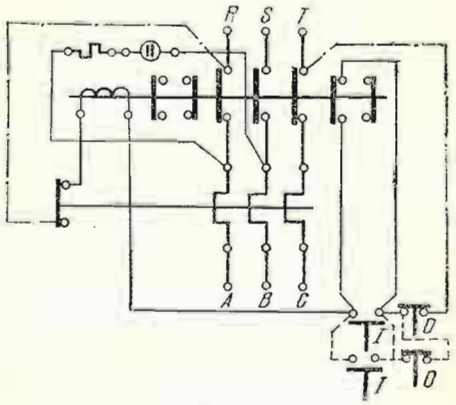


Fig. 2.4

10 A 0,19—0,29—0,40—0,55—0,75—1—1,3—1,8—2,4—3,3—4,5—6—8 şi 11 A;
25 A: 15—20 şi 25 A;
40 A: 31,5 şi 40 A;
63 A: 63 A;
100 A: 80 şi 100 A;
200 A: 125—160 şi 200 A.

Domeniul de reglare al releelor termice este între 0,6 . . . 1 ori curentul lor nominal.

Capacitatea de rupere a acestor aparate, la 500 V şi cos $\varphi=0,35$, este de:

$8\,I_n$, pentru $I_n < 100$ A;
$6\,I_n$, pentru $I_n > 100$ A.

Pentru mărirea capacităţii de rupere a aparatului şi protejarea releelor termice, pe circuitul de alimentare trebuie montate siguranţe rapide, în conformitate cu tabelul 2.1.

Tabelul 2.1

Curenții nominali ai releelor termice și ai siguranțelor rapide din amonte, în A

Releu	0,19	0,29	0,4	0,45	0,75	1	1,3	1,8	2,4	3,3	4,5	6
Siguranță	0,5	0,8	2	2	4	4	6	6	10	15	20	20
Releu	8	11	15	20	25	32	40	63	100	160	200	
Siguranță	25	35	50	60	80	100	125	200	315	400	630	

Este de remarcat că aparatele de tip contactor (cu bobină de autoreținere în poziția închis) declanșează la scăderi de tensiune chiar de scurtă durată (peste 50 ms), de exemplu la scurtcircuite în rețele.

2.2.4. *Întreruptoare automate în aer*

Constructiv, aparatele sînt prevăzute cu un mecanism de zăvorîre care le menține în poziția închis. Operația de închidere se poate efectua manual, iar pentru unele tipuri, cu dispozitive acționate prin electromagnet sau electromotor. Pe lîngă deschiderea manuală, întreruptoarele pot declanșa automat prin:

— relee termice;

— relee electromagnetice (rapide sau cu temporizare);

— bobină de declanșare, pentru impuls din exterior;

— bobină de minimă tensiune (cu sau fără temporizare).

Întreruptoare tip DITA. Aceste întreruptoare pot fi utilizate atît pentru protecția electromotoarelor mari (simbol M) cît și la protecția liniilor sau circuitelor de forță (simbol L). Ca elemente de protecție posedă relee termice, relee electromagnetice rapide, bobină de minimă tensiune netemporizată (varianta M) sau bobină de declanșare (varianta L).

Aceste întreruptoare se execută în două tipuri dimensionale, cu mai multe subvariante privind curentul nominal al releelor termice și electromagnetice:

— DITA-350 relee electromagnetice: 100—200—350 A;
relee termice: 100—150—200—300—350 A;

— DITA-1000 relee electromagnetice: 600—1000 A;
relee termice: 600—800—1000 A.

Releele termice sînt reglabile în domeniul uzual de la 0,6 la 1 I_n.

Releele electromagnetice au domenii de reglaj diferite după tipul de aparat:

— varianta *M*: de la 5 la 10 I_n;

— varianta *L*: de la 3 la 6 I_n.

În varianta *M* curenții de reglaj ai releelor electromagnetice au valori mai ridicate, spre a nu acționa la curenții de pornire ai motoarelor electrice asincrone cu rotorul în scurtcircuit.

Schema electrică a unui întreruptor DITA-1000 *L* este reprezentată în fig. 2.5.

Capacitatea de rupere a acestor aparate este:

— DITA 350 *M* și 1000 *M*: 15 kA_{ef}, la $\cos\varphi=0{,}3$;

— DITA 350 *L* și 1000 *L*: 15 kA_{ef} la $\cos\varphi=0{,}7$.

Aceste performanțe sînt destul de ridicate și permit utilizarea aparatelor în instalații puternice cu curenți mari de scurtcircuit.

Întreruptoare tip ISOL. Construcția este de tip închis, în carcasă izolantă, cu acționare manuală prin pîrghie, în execuție fixă sau debroșabilă.

Se execută în două tipuri dimensionale și în 22 subvariante privind curentul nominal al releelor termice și electromagnetice:

ISOL 100: 2,5—3,2—4—5—6,3—8—10—12,5—16—20—25—32—40—50—63—80 și 100 A;
ISOL 250: 100—125—160—200 și 250 A.
Domeniul de reglaj al releelor termice este:
— la 20°C: între 1 . . . 1,25 ori curentul lor nominal;
— la 45°C: între 0,8 . . . 1 ori curentul lor nominal.

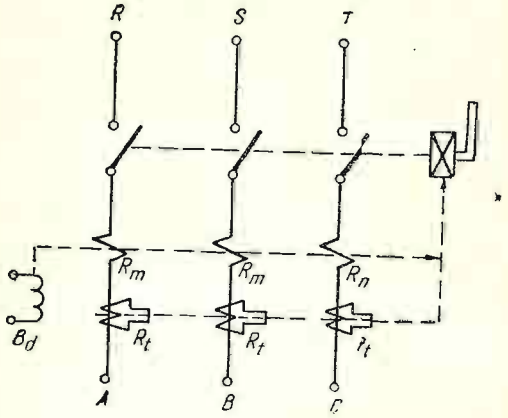


Fig. 2.5

Este de remarcat dependența reglajului de temperatura ambiantă. Releele electromagnetice au un reglaj fix egal cu de 10 ori curentul lor nominal.

Pentru protecția liniilor, se echipează cu bobină de declanșare, fără temporizare. Pentru protecția motoarelor se poate atașa o bobină de minimă tensiune netemporizată sau altele prevăzute cu dispozitiv de temporizare cu timp fix, la alegere, de 0,2—0,5—1 sau 1,5 s. Variantele temporizate sînt de preferat cînd este necesar ca întreruptorul să nu declanșeze la variații trecătoare de tensiune în rețea.

Capacitatea de rupere a acestor întreruptoare nu este prea ridicată și anume:

ISOL 100: 8 kA;
ISOL 250: 10 kA.

Întreruptoare tip AMT. Se execută în următoarele variante:

AMT 200: 10—16—20—25—31,5—40—63—100—150 și 200 A;
AMT 400: 250—315—400 A.

Releele termice au domeniul de reglaj între 0,6 . . . 1 ori curentul la nominal, cu compensarea temperaturii ambiante.

Domeniul de reglaj al releelor electromagnetice variază după scopul utilizării, fiind:

pentru motoare: 5 . . . 10 I_n;
pentru linii: 3 . . . 6 I_n.

Varianta pentru motoare este prevăzută cu bobină de tensiune minimă fără temporizare, iar cea pentru linii cu bobină de declanșare.

Întreruptoarele pot fi acționate la închidere manual sau prin electromagnet.

Capacitatea de rupere, la 500 V și $\cos \varphi = 0{,}4$, are următoarele valori:

AMT 200 : 8 kA;
AMT 400 : 16 kA.

Întreruptoare tip OTOMAX. Aceste întreruptoare sînt pentru curenți nominali ridicați și au mare capacitate de rupere, acționare manuală sau cu electromotor, în execuție fixă sau debroșabilă.

În privința curenților nominali primari, există patru variante constructive: 1000—1600—2000 și 2500 A. Pentru protecția liniilor se atașează o bobină de declanșare, iar pentru protecția motoarelor o bobină de tensiune minimă (cu sau fără temporizare, similar ca la tipul ISOL).

Pentru protecția contra supracurenților, întreruptoarele pot fi dotate cu următoarele dispozitive (la alegere):

Declanșator tip H. Acesta constă dintr-un bloc de relee termice și electromagnetice și se execută pentru curenți nominali de: 300—600—1000—1600—2000 și 2500 A.

Domeniul de reglaj al releelor termice este între 0,5 ... 1 ori curentul lor nominal.

Reglajul de curent al releelor electromagnetice (rapide) rezultă din reglajul releelor termice și este între 6 ... 8 ori valoarea acestui reglaj.

Declanșator tip Ksi. Acest dispozitiv realizează, prin dispozitive electromecanice și pneumatice, o protecție maximală de curent în trei trepte de timp.

Gama curenților nominali este: 400—800—1000—1600—2000 și 2500 A.

Prima treaptă de protecție, echivalentă unei protecții de suprasarcină cu timpi mari de acționare, are domeniul de reglaj al curentului de acționare între 0,8 ... 1,25 ori curentul nominal al releului. Temporizarea acestei trepte este dependentă de curent; la multiplul de șase ori curentul nominal al releului se obțin valori între 10 și 30 s.

A doua treaptă de protecție acționează la curenți de scurtcircuit de valori medii, cu temporizări fixe de 0,1—0,3 sau 0,5 s (la alegere). Domeniul de reglaj al curentului de acționare este între 4 ... 8 ori curentul nominal al releului.

Treapta a treia este rapidă și acționează la curenți mari de scurtcircuit. Curentul de acționare poate fi ales de 5—10—20—30 sau 40 kA, după necesități sau considerente de selectivitate.

Întreruptoarele tip OTOMAX au o capacitate de rupere de 50 kA.

2.2.5. *Caracteristicile elementelor de protecție*

Releele termice. Conform STAS 4480-68, caracteristica de funcționare a unui releu termic trebuie să satisfacă următoarele condiții de timp-curent:

la $I=1{,}05\ I_n$, $t=\infty$;
la $I=1{,}2\ I_n$, $t\leqslant 2$ h;
la $I=1{,}5\ I_n$, $t\leqslant 2$ min;
la $I=6\ I_n$: $t\geqslant 2$ s (I);
$t\geqslant 5$ s (II).

Releele de tip II sînt destinate motoarelor electrice cu condiții grele de pornire.

În fig. 2.6 sînt reprezentate pe diagramă „porțile", care încadrează curba releelor. Desigur că alura reală a curbei unui releu poate varia într-un domeniu destul de

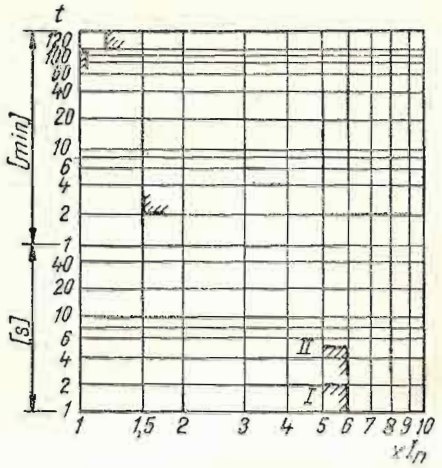


Fig. 2.6

larg. Releele termice utilizate la întreruptoarele DITU și DITA nu au o caracteristică bine definită în domeniul permis, putîndu-l utiliza în întregime. Din cauza acestei incertitudini se întîmpină dificultăți în aprecierea selectivității între diferitele elemente de protecție din instalații.

Releele electromagnetice. Așa cum s-a arătat anterior, aceste relee pot fi reglate la multipli de curenți egali cu:

5 ... 10 I_n, în cazul protecției motoarelor electrice;
3 ... 6 I_n, în cazul protecției liniilor.

Nu se dau indicații asupra timpului de acționare al acestor relee, care, cu toate că este destul de scurt, are totuși o valoare limitată. Timpul total de întrerupere al acestor aparate se compune în esență din timpul de

Domeniul de reglaj al releelor termice este între 0,5 ... 1 ori curentul lor nominal.

Reglajul de curent al releelor electromagnetice (rapide) rezultă din reglajul releelor termice și este între 6 ... 8 ori valoarea acestui reglaj.

Declanșator tip Ksi. Acest dispozitiv realizează, prin dispozitive electromecanice și pneumatice, o protecție maximală de curent în trei trepte de timp.

Gama curenților nominali este: 400—800—1000—1600—2000 și 2500 A.

Prima treaptă de protecție, echivalentă unei protecții de suprasarcină cu timpi mari de acționare, are domeniul de reglaj al curentului de acționare între 08 ... 1,25 ori curentul nominal al releului. Temporizarea acestei trepte este dependentă de curent; la multiplul de șase ori curentul nominal al releului se obțin valori între 10 și 30 s.

A doua treaptă de protecție acționează la curenți de scurtcircuit de valori medii, cu temporizări fixe de 0,1—0,3 sau 0,5 s (la alegere). Domeniul de reglaj al curentului de acționare este între 4 ... 8 ori curentul nominal al releului.

Treapta a treia este rapidă și acționează la curenți mari de scurtcircuit. Curentul de acționare poate fi ales de 5—10—20—30 sau 40 kA, după necesități sau considerente de selectivitate.

Întreruptoarele tip OTOMAX au o capacitate de rupere de 50 kA.

2.2.5. *Caracteristicile elementelor de protecție*

Releele termice. Conform STAS 4480-68 caracteristica de funcționare a unui releu termic trebuie să satisfacă următoarele condiții de timp-curent:

la $I=1{,}05\ I_n$, $t=\infty$;
la $I=1{,}2\ I_n$, $t\leqslant 2$ h;
la $I=1{,}5\ I_n$, $t\leqslant 2$ min;
la $I=6\ I_n$: $t\geqslant 2$ s (I);
$t\geqslant 5$ s (II).

Releele de tip II sînt destinate motoarelor electrice cu condiții grele de pornire.

În fig. 2.6 sînt reprezentate pe diagramă „porțile", care încadrează curba releelor. Desigur că alura reală a curbei unui releu poate varia într-un domeniu destul de

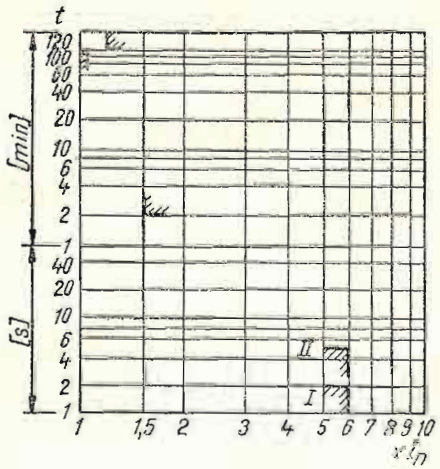


Fig. 2.6

larg. Releele termice utilizate la întreruptoarele DITU și DITA nu au o caracteristică bine definită în domeniul permis, putîndu-l utiliza în întregime. Din cauza acestei incertitudini se întîmpină dificultăți în aprecierea selectivității între diferitele elemente de protecție din instalații.

Releele electromagnetice. Așa cum s-a arătat anterior, aceste relee pot fi reglate la multipli de curenți egali cu:

5 ... 10 I_n, în cazul protecției motoarelor electrice;
3 ... 6 I_n, în cazul protecției liniilor.

Nu se dau indicații asupra timpului de acționare al acestor relee, care, cu toate că este destul de scurt, are totuși o valoare limitată. Timpul total de întrerupere al acestor aparate se compune în esență din timpul de

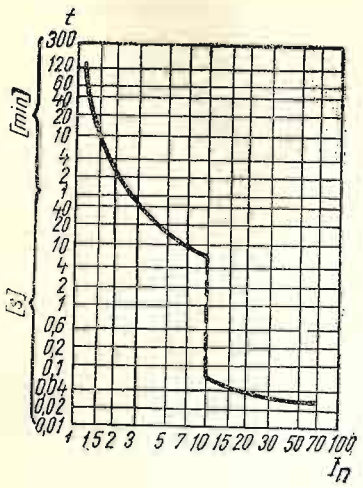


Fig. 2.7

deschidere şi timpul necesar stingerii arcului electric. Timpul de deschidere se compune la rîndul său din timpul de acţionare al releului şi timpul de desfacere a contactelor.

Ţinînd seama de datele din prospectele unor produse străine similare şi de experienţele efectuate de autor, se pot accepta ca valori medii următoarele cifre la întreruptoarele tip DITA 350 sau 1000:

— timp total de întrerupere: 50—70 ms;

— timp de deschidere: 30—60 ms;

— timp de acţionare completă a releelor: 20—40 ms.

Primele două valori sînt mai ridicate la aparatele cu contactoare.

În fig. 2.7. este reprezentată întreaga caracteristică de protecţie a unui întreruptor de 400 A de fabricaţie Siemens.

2.3. Întreruptoare automate de fabricaţie străină

2.3.1. *Întreruptoare automate tip Elfa (AEG)*

Aceste întreruptoare sînt de o construcţie aparte, destinate pentru protecţia diferitelor instalaţii cu curenţi nominali pînă la 25 A. Ele se montează prin înşurubare în orice soclu pentru siguranţa de 25 A, pe care le pot suplini, avînd avantajul unei protecţii mai adecvate diferitelor instalaţii şi posibilitatea repunerii imediate sub tensiune a circuitului după o declanşare (fig. 2.8).

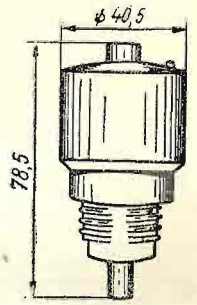


Fig. 2.8

Întreruptoarele au, cu tot gabaritul redus, o protecţie completă constînd dintr-un releu termic bimetalic şi un releu electromagnetic cu acţiune rapidă, ambele relee avînd un reglaj fix realizat în fabrică.

În funcţie de întreaga alură a caracteristicii de protecţie şi mai ales de reglajul releului electromagnetic, se execută trei variante: *H*, *L* şi *G*. Varianta *H* se utilizează pentru protecţia instalaţiilor interioare contra suprasarcinilor şi scurtcircuitelor. În condiţiile respectării prescripţiilor de legare la pămînt, ele pot asigura o protecţie sigură contra tensiunilor de atingere periculoase. Se realizează pentru curenţi nominali de 10—15—20—25 A. Reglajul releului electromagnetic: 2,5—3 I_n.

Varianta *L* este destinată protecţiei circuitelor sau coloanelor, reglajul releului fiind 4—6 I_n. Gama curenţilor nominali este: 6—10—15—20—25 A.

Varianta *H* se foloseşte pentru protecţia aparatelor, mai ales a micilor motoare electrice de curent alternativ sau continuu. Reglajul releului este 8—10 I_n, curenţii nominali fiind de 0,5—0,75—1—1,5—2—2,5—3—4—5—6—8—10—12,5—15—20—25 A.

Timpul de acţionare a protecţiei electromagnetice este în toate cazurile sub 0,2 s.

Releele termice respectă prevederile prescripţiei VDE 0660 şi funcţionează la următoarele valori:

1,05 I_n—t $>$ 2 h;

1,2 I_n—t $<$ 2 h;

1,5 I_n—t $<$ 2 min.

Întreaga serie de întreruptoare are o capacitate de rupere de 1500 A, la cos $\varphi = 0{,}4$ şi 250 V—50 Hz.

Caracteristicile de protecţie pentru toate variantele sînt reprezentate în fig. 2.9. Curbele sînt prezentate sub

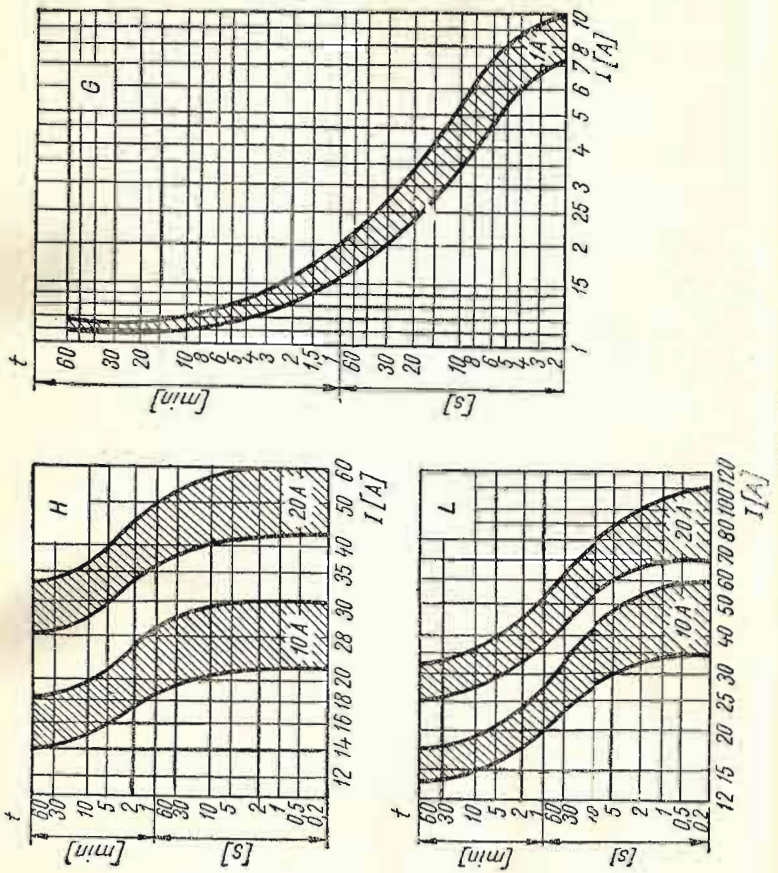


Fig. 2.2

Tabelul 2.2

Curenţi de probă şi curenţii nominali ai siguranţelor din amonte

Curent nominal, A	6	10	15	20	25
Curent de probă minim, A	10	14	20	25	30
Curent de probă maxim, A	12,5	18	25,5	32	38,5
Siguranţă minimă rapidă în amonte, A	20	25	35	50	60
Siguranţă minimă lentă în amonte, A	15	20	25	35	50
Siguranţă maximă lentă în amonte, A	100	100	100	100	100

forma unor benzi, avîndu-se în vedere domeniul de eroare al releelor.

În privinţa curenţilor de probă şi a siguranţelor admise în amonte, se dau indicaţii în tabelul 2.2.

La curentul de probă minim, declanşarea se produce într-un timp mai mare de 1 h, iar la curentul maxim în mai puţin de 1 h.

Curentul nominal minim al siguranţelor din amonte, de tipul rapid sau lent, este dat din motive de selectivitate, pentru a se evita întretăierea caracteristicilor. Valoarea maximă a siguranţei din amonte (100 A, lentă) se prescrie în cazurile cînd capacitatea de rupere a întreruptorului este depăşită (I_{sc}>1 500 A), siguranţa urmînd a întrerupe curenţii mari de scurtcircuit.

2.3.2. *Întreruptoare automate tip M (AEG)*

Construcţia şi principiul de funcţionare al acestor întreruptoare sînt asemănătoare cu ale întreruptoarelor tip DITA 350-1000.

Fabrica execută însă o mare varietate de aparate în privinţa curenţilor nominali şi a dispozitivelor de protecţie care vor fi scoase în evidenţă în cele ce urmează.

De asemenea, aparatele au o capacitate de rupere ridicată, putînd fi utilizate în instalaţii cu puteri mari de scurtcircuit [19].

Curenţi nominali şi capacităţi de rupere. Din punctul de vedere al curentului nominal prin contactele principale, se execută întreruptoarele de tip M 400—600—1 000—1 400—2000—3000—4000—6000 şi 8000 A.

Fiecare tip poate fi echipat cu relee termice pentru diferiţi curenţi nominali, reglabile între anumite limite şi anume: M 401: şase variante, domeniu total de reglaj între 40 şi 400 A; M 600: patru variante, domeniu total de reglaj între 75 şi 600 A, M 1000: cinci variante, domeniu total de reglaj între 75 şi 1100 A;

M 1400: şase variante, domeniu total de reglaj între 75 şi 1400 A;

M 2000: cinci variante, domeniu total de reglaj între 140 şi 2000 A.

Întreruptoarele mai mari se prevăd cu o protecţie termică secundară separată, în funcţie de necesităţi.

Releele electromagnetice se realizează de asemenea în numeroase variante de curenţi nominali, fiind în general reglabile în raportul 1:2.

M 401: zece variante, domeniu total de reglaj între 80 şi 4000 A;

M 600: zece variante, domeniu total de reglaj între 80 şi 4000 A;

M 1000: nouă variante, domeniu total de reglaj între 800 şi 12 000 A;

M 1400: nouă variante, domeniu total de reglaj între 800 şi 12 000 A;

M 2000: şase variante, domeniu total de reglaj între 1600 şi 12 000 A;

M 3000: cinci variante, domeniu total de reglaj între 4000 şi 20 000 A;

M 4000: patru variante, domeniu total de reglaj între 5000 şi 20 000 A;

M 6000: două variante, domeniu total de reglaj între 8000 şi 20 000 A;

M 8000: două variante, domeniu total de reglaj între 10 000 şi 30 000 A.

Capacitatea de rupere a întreruptoarelor, precum şi capacitatea de închidere şi curentul limită de stabilitate termică la 1 s sînt indicate în tabelul 2.3.

Dispozitive de protecţie. Releele termice ale acestor întreruptoare sînt confecţionate din benzi bimetalice, încălzirea efectuîndu-se prin intermediul transformatoarelor de curent adecvate. Ele au o compensare a temperaturii mediului ambiant între limitele —10 la +40°C.

Datorită saturaţiei transformatoarelor de curent, caracteristicile de protecţie au o alură plată în domeniul curenţilor mari, astfel încît releele nu declanşează la pornirea în condiţii grele a motoarelor electrice. Conform prescripţiei VDE 0660, releele corespund gradului de întîrziere T II, declanşînd la peste 5 s la un curent egal cu 6 I_n. Din acest punct de vedere se realizează următoarele patru tipuri de relee termice, care declanşează în timpul indicat la 6 I_n:

tip T II/14 s : între 9 şi 17 s;
tip T II/22 s : între 18 şi 30 s;
tip T II/35 s : între 30 şi 35 s;
tip T II/50 s : între 45 şi 53 s.

În fig. 2.10 sînt reprezentate caracteristicile a două tipuri de relee termice: curba *1* pentru tipul T II/14 s şi curba 2 pentru tipul T II/22 s.

În cazul cînd condiţiile de pornire ale motoarelor electrice sînt foarte grele şi releele obişnuite nu pot fi utilizate, se pot executa la cerere releele speciale cu întîrziere mai mare.

Releele electromagnetice se execută în mai multe variante atît rapide, cît şi temporizate.

Releele rapide au domeniul posibil de reglaj indicat anterior şi au rolul de a provoca declanşarea la apariţia curenţilor mari de scurtcircuit. Timpul total de întrerupere, adică timpul mecanic plus durata arcului electric, variază între 35 şi 70 ms, în funcţie de mărimea întreruptorului şi condiţiile de declanşare.

Tabelul 2.3

Performanțele întreruptoarelor tip M

Tipul	Capacitatea de rupere, kA $_{ef}$								Capacitatea de închidere kA $_{max}$	Curent limită termic kA $_{ef}$
	$\frac{U}{V}$	380/220		500		1 000				
	cos φ	0,6–1	0,4	0,6–1	0,4	0,6–1	0,4			
M 401		22	17	18	14	—	—		40	22
M 600		43	31	33	26	25	20		60	31
M 1000		43	31	33	26	25	20		60	36
M 1400		43	31	33	26	25	20		60	41
M 2000		80	60	60	48	45	35		120	48
M 3000		80	60	60	48	45	35		120	55
M 4000		80	60	60	48	45	35		120	60
M 6000		80	60	60	48	45	35		120	110
M 8000		80	60	60	48	45	35		120	120

Reglajul acestor relee se recomandă să se facă la următoarele valori:

— protecția generatoarelor, transformatoarelor sau liniilor 3 . . . 6 I_{ni}

Fig. 2.10

— protecția motoarelor electrice cu rotorul în scurtcircuit 8 . . . 16 I_{ni};

— protecția motoarelor electrice cu rotorul bobinat 3—6 I_{ni};

— protecția condensatoarelor pînă la 210 A 8 I_{ni};

— protecția condensatoarelor pînă la 420 A 6 I_{ni};

— protecția condensatoarelor peste 420 A 4 I_n.

Valorile ridicate de reglaj în cazul motoarelor electrice cu rotorul în scurtcircuit țin seama de vîrful de curent la închidere.

În cazul condensatoarelor, ținînd seama de același fenomen și de existența curenților suplimentari datorită armonicilor superioare, este necesar ca releele termice să se regleze la aproximativ 1,2 I_n al condensatoarelor.

În cazul protecției instalațiilor mai complicate, în care într-un circuit se află înseriate mai multe întreruptoare sau întreruptoare și siguranțe, pentru realizarea selecti-

vităţii este necesară eşalonarea timpilor de declanşare ale releelor electromagnetice.

Firma execută diverse sisteme de temporizare, considerînd că se obţine selectivitatea la o diferenţă de 100 ms între două întreruptoare succesive.

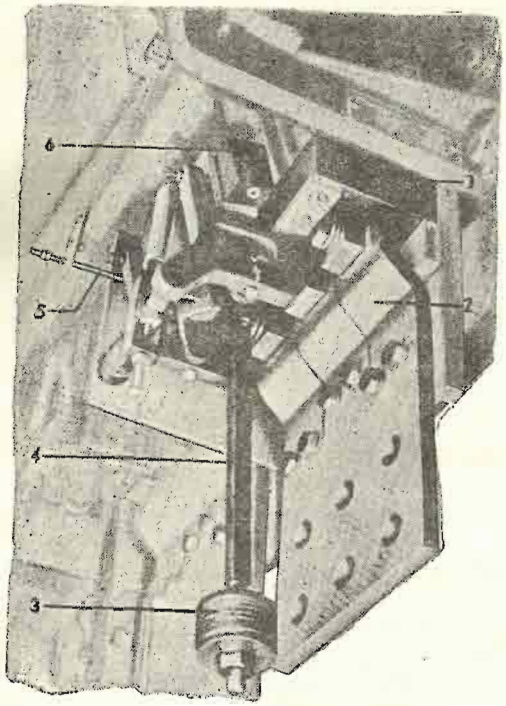


Fig. 2.11

Unul din sisteme, la care temporizarea este dependentă de curent (timpul scade pe măsura creşterii curentului), se bazează pe inerţia unui sistem pendular acţionat de armătura mobilă a electromagnetului (fig. 2.11).

În fig. 2.11 este reprezentat un declanşator cu temporizare prin sistem pendular la un întreruptor M 3000, care este constituit din: jug magnetic *1*; bară de curent 2;

şaibe pentru reglarea temporizării 3; bara pendulului 4; tijă de declanşare 5 şi armătura electromagnetului 6.

Greutatea pendulului este divizată în şaibe demontabile, cu care se poate regla timpul necesar, valoarea maximă fiind de circa 400 ms. Prin acest sistem se poate asigura eşalonarea selectivă a două întreruptoare, însă numai în instalaţii unde curentul de scurtcircuit nu depăşeşte 30 kA_{ef}. La curenţi mai mari, selectivitatea nu mai poate fi asigurată din cauza timpului de declanşare care se reduce prea mult.

În cazul cînd este necesară o eşalonare mai exactă a timpilor, independent de mărimea curentului, se utilizează un sistem de temporizare cu elemente rezistenţă-condensator *RC*. Timpul este reglabil în mod continuu între 0 şi 0,6 s.

La întreruptoarele cu bobină de tensiune minimă se utilizează varianta *z*, a cărei schemă electrică simplificată este reprezentată în fig. 2.12.

Releele electromagnetice acţionează contactul *A*, care întrerupe circuitul bobinei contactorului *K*. Acest circuit este alimentat în curent continuu prin redresorul *S*. Contactorul *K* revine cu temporizare reglabilă prin grupul *R*—*C* şi întrerupe bobina de tensiune minimă *D*, iar întreruptorul declanşează.

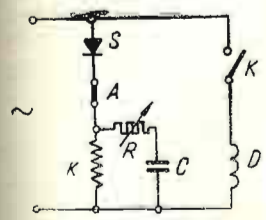


Fig. 2.12

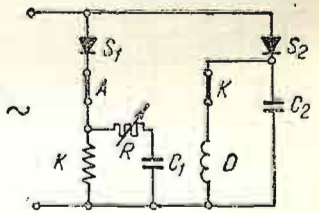


Fig. 2.13

La întreruptoarele prevăzute cu bobină de declanşare se foloseşte varianta z y, la care schema (fig. 2.13) se completează cu redresorul S_2 şi condensatorul C_2, ultimul servind ca sursă de energie pentru declanşarea

bobinei *D*. În acest fel schema nu depinde de tensiunea alternativă remanentă în timpul scurtcircuitului.

La utilizarea sistemelor de temporizare *z* sau zy trebuie acordată atenție solicitării termice a instalației și a întreruptorului. Pentru reducerea acestor solicitări, se pot monta suplimentar relee electromagnetice rapide, al căror reglaj de curent se alege suficient de ridicat pentru a nu perturba selectivitatea.

În fig. 2.14 este tratat un exemplu de eșalonare selectivă a trei întreruptoare I_1, I_2 și I_3 într-un circuit de forță. Zonele a_1, a_2 și a_3 ale curbelor reprezintă caracteristicile releelor termice. Curba b_1 este a releului elec-

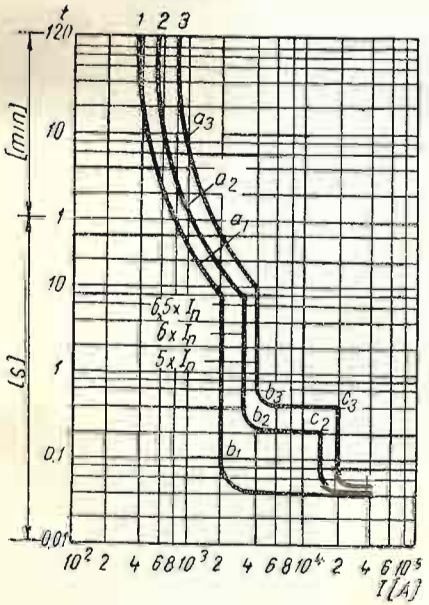


Fig. 2.14

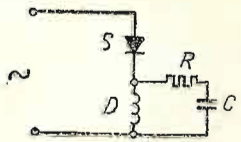


Fig. 2.15

tromagnetic I_1 netemporizat și reglat la 2 kA; b_2 reprezintă curba releului I_2 temporizat la 0,2 s și reglat la 3 kA, iar b_3 pe a releului I_3 cu temporizare de 0,4 s și reglat la 4 kA.

Curbele c_2 și c_3 reprezintă caracteristicile unor relee suplimentare rapide ale întreruptoarelor I_2 și I_3, reglate respectiv la 15 și 20 kA.

Din figură se observă că eșalonarea și reglajele efectuate conduc la o selectivitate acceptabilă.

În privința temporizării de declanșare prin bobină de minimă tensiune, firma execută două sisteme diferite. Un sistem prevede un mecanism de ceasornic reglat între 1—2 s care nu permite declanșarea decît dacă tensiunea lipsește un timp mai mare. Celălalt sistem se bazează pe temporizare prin elemente *RC*, timpul obținut fiind tot de 1—2 s (fig. 2.15).

Ambele sisteme sînt deosebit de utile în instalațiile industriale, evitînd întreruperea consumului la o variație sau lipsă scurtă a tensiunii din rețeaua de alimentare.

3. Protecția elementelor din rețele și instalații

3.1. Considerații generale

Instalațiile rețelelor publice sau industriale conțin o serie de elemente componente, în general diferite circuite și aparate de utilizare, care trebuie protejate împotriva suprasarcinilor și scurtcircuitelor.

În acest scop elementele se prevăd cu siguranțe sau întreruptoare automate, astfel alese încît să corespundă cît mai bine scopului urmărit. În același timp este însă necesar ca, în instalațiile mai complicate, să se asigure funcționarea selectivă a protecției, adică la apariția unui defect să se separe numai elementul avariat, ceea ce se obține prin coordonarea judicioasă a caracteristicilor de protecție. Asupra acestei probleme se va reveni ulterior.

Normativele în vigoare nu reglementează suficient criteriile privind alegerea ca organ de protecție a siguranțelor sau a întreruptoarelor automate,

Întreruptoarele prezintă față de siguranțe avantajul unei protecții mai bune la suprasarcini mici și posibilitatea execuției pentru curenți nominali mari, în schimb sînt mult mai costisitoare, cer o întreținere frecventă și nu limitează curenții de scurtcircuit.

În domeniul instalațiilor cu curenți nominali sub 600 A, unde există la dispoziție atît siguranțe, cît și întreruptoare, trebuie considerată normală tendința utilizării siguranțelor în situațiile în care caracteristicile lor de protecție sînt satisfăcătoare.

3.2. **Protecția liniilor aeriene**

Liniile aeriene sînt frecvent utilizate în distribuția energiei electrice la consumatorii casnici și în mai mică măsură la instalațiile industriale. Conductoarele liniilor sînt în general executate din funie de aluminiu (mai rar din cupru), cu secțiuni între 10 și 120 mm^2.

Protecția liniilor poate fi executată cu siguranțe sau cu întreruptoare automate, în condițiile prevăzute de Normativul I.7.62 [15]. Dimensionarea este dictată de secțiunea și materialul conductoarelor de fază ale liniei, care admit un curent maxim admisibil în regim permanent din punctul de vedere al încălzirii (denumit și curent nominal).

În cazul liniilor destinate alimentării consumului casnic (în majoritate instalații de iluminat), curentul nominal al siguranței trebuie ales mai mic decît curentul nominal al liniei pentru a se asigura o protecție la suprasarcină. În cap. 1 s-a arătat că o siguranță suportă fără să se ardă timp de 1 ... 2 h un curent de 130% din curentul nominal, ceea ce justifică regula enunțată mai sus. Formula de calcul este

$$\frac{I_n}{1{,}25} > I_{n\,sig} > \frac{I_n}{1{,}8},$$

unde

I_n este curentul nominal al liniei, în A;

$I_{n\,sig}$ — curentul nominal al siguranței, în A.

Conform acestei formule, se alege valoarea cea mai apropiată din seria siguranțelor standardizate.

În cazul liniilor aeriene care alimentează instalații industriale de forță, curentul pe linie prezintă de obicei șocuri mari datorită curenților de pornire ale motoarelor electrice. Normativul prevede ca alegerea siguranțelor, care au numai rolul unei protecții contra scurtcircuitului, să se facă pe baza formulei

$$I_{n\,sig} \leqslant 3\, I_n.$$

În cazul cînd se consideră necesar să se doteze linia cu un întreruptor automat, curentul nominal al acestuia trebuie ales egal sau mai mare decît cel al liniei. Reglajul releelor termice se alege egal cu curentul nominal al liniei, iar reglajul releelor electromagnetice la

$$I_{reglaj} \leqslant 4{,}5\, I_n.$$

Se accentuează că aceste întreruptoare trebuie să fie de tipul pentru linie, cu bobină de declanșare, fără bobină de tensiune minimă.

În tabelul 3.1 sînt centralizate toate datele necesare pentru protecția liniilor aeriene, în baza formulelor și principiilor enunțate mai sus.

Exemplul 1. Se consideră o rețea de distribuție publică de 3×50+35 Al. Curentul nominal al liniei este I_n=215 A. Linia alimentează consumatorii cu specific de iluminat, curentul nominal maxim al siguranței rezultă $I_{n\,sig}$=160 A.

Se menționează că în multe cazuri liniile nu pot fi încărcate la curentul maxim din cauză că apar pierderi de tensiune inadmisibile la consumatori. Dacă se cunoaște sau se stabilește curentul maxim de exploatare al liniei, curentul nominal al siguranței se poate alege la aceeași valoare (în cazul considerat de exemplu 100...125 A).

Exemplul 2. Fie o linie aeriană de 3×95+50 Al care alimentează tabloul de distribuție al unei secții industriale unde sînt racordate un număr mare de motoare electrice asincrone. Curentul nominal al liniei este I_n=325 A. Linia nu poate fi protejată cu siguranțe, fiind necesar un curent nominal mai mare de 600 A. Se alege un întreruptor DITA 350 L, cu releele termice și electromagnetice pentru 350 A.

Releele termice se reglează la 325 A (gama de reglaj a releelor este 210...350 A), iar releele electromagnetice la 1500 A (gama de reglaj între 1050...2100 A).

Tabelul 3.1

Linii electrice aeriene la +25°C

s mm²	Cupru					Aluminiu				
	I_n A	Luminat		Forță		I_n A	Luminat		Forță	
		$I_{n\,sig}$ A		$I_{n\,sig}$ A	I_{reglat} A		$I_{n\,sig}$ A		$I_{n\,sig}$ A	I_{reglat} A
10	95	60		300	450	75	60		200	300
16	130	100		400	600	105	80		300	500
25	180	125		500	800	135	100		400	600
35	220	160		600	1 000	170	125		500	750
50	270	200		—	1 200	215	160		600	950
70	340	250		—	1 500	265	200		—	1 200
95	415	300		—	1 800	325	250		—	1 500
120	485	350		—	2 200	375	300		—	1 700

Și în acest caz se menționează că valorile de reglaj indicate sînt maxime, putîndu-se alege valori mai reduse dacă linia nu este încărcată pînă la curentul maxim admis.

3.3. Protecția cablurilor

Majoritatea rețelelor de distribuție urbane și a rețelelor industriale sînt realizate cu cabluri subterane, în ultimul caz uneori cu cabluri pozate în aer.

În funcție de secțiune, de materialul conductorului, de materialul izolant și de modul de pozare, cablurilor li se atribuie din motive termice un curent nominal (curentul maxim admisibil de durată). În funcție de valoarea curentului nominal stabilit, alegerea sistemului de protecție se face în același mod și în baza acelorași formule ca la liniile aeriene.

În tabelul 3.2 sînt date toate caracteristicile necesare pentru protecția cablurilor cu patru conductoare, cu izolația de cauciuc, pozate în aer, la temperatura mediului ambiant de +25°C.

În tabelul 3.3 sînt date caracteristicile pentru același tip de cablu însă în condițiile pozării în pămînt, la o temperatură a solului de +15°C.

În tabelele 3.4 și 3.5 avem date pentru cablurile cu izolația de hîrtie și PVC, pozate în pămînt.

Trebuie menționat că curentul nominal al cablurilor se reduce față de valorile din tabele în cazul cînd temperatura este mai ridicată sau cînd în pămînt se pozează mai multe cabluri paralele. Coeficienții de corecție pentru aceste cazuri se pot lua din manualele de specialitate, iar valorile indicate pentru protecție se vor reduce conform formulelor menționate anterior.

3.4. Protecția coloanelor montate în tuburi

Acest gen de instalații este utilizat pentru realizarea circuitelor interioare în imobile, instituții sau întreprinderi. Conductoarele utilizate pot fi din cupru sau alu-

Tabelul 3.2

Cabluri cu patru conductoare, cu izolaţia de cauciuc, pozate în aer la +25°

s mm²	Cupru				Aluminiu			
	I_n A	Iluminat	Forţă		I_n A	Iluminat	Forţă	
		$I_{n\,sig}$ A	$I_{n\,sig}$ A	I_{reglat} A		$I_{n\,sig}$ A	$I_{n\,sig}$ A	I_{reglat} A
1,5	18	10	35	60	—	—	—	—
2,5	20	15	60	90	15	10	45	70
4	28	20	80	130	22	15	60	100
6	33	25	100	150	25	20	80	120
10	50	35	160	250	38	25	100	170
16	65	45	200	300	50	35	160	250
25	80	60	250	350	62	45	160	300
35	100	80	315	450	77	60	225	350
50	135	100	400	600	104	80	300	450
70	170	125	500	750	130	100	400	600
95	235	160	600	1 000	179	125	500	800
120	285	200	—	1 300	215	160	600	950

Tabelul 3.3

Cabluri cu patru conductoare, cu izolaţie de cauciuc, pozate în pământ la +15°C

s mm²	Cupru				Aluminiu			
	I_n A	Iluminat	Forţă		I_n A	Iluminat	Forţă	
		$I_{n\,sig}$ A	$I_{n\,sig}$ A	I_{reglat} A		$I_{n\,sig}$ A	$I_{n\,sig}$ A	I_{reglat} A
1,5	18	15	60	80	—	—	—	—
2,5	28	20	80	120	24	15	60	100
4	39	25	125	180	34	25	100	150
6	47	35	160	200	40	35	125	180
10	70	50	200	320	60	45	160	270
16	90	60	250	400	76	60	200	350
25	115	80	300	500	98	80	300	450
35	140	100	400	600	120	80	400	500
50	190	160	600	850	160	100	500	700
70	240	200	—	1 100	200	160	600	900
95	280	200	—	1 300	235	160	—	1 100
120	320	250	—	1 400	260	200	—	1 200

Tabelul 3.4

Cabluri cu patru conductoare, cu izolația de hîrtie, pozate în pămînt la +15°C

s mm²	Cupru				Aluminiu			
		Iluminat	Forță			Iluminat	Forță	
	I_n A	$I_{n\ sig}$ A	$I_{n\ sig}$ A	I_{reglat} A	I_n A	$I_{n\ sig}$ A	$I_{n\ sig}$ A	I_{reglat} A
2,5	35	25	100	160	27	20	60	120
4	50	35	160	230	38	25	125	170
6	60	45	200	270	46	35	160	200
10	85	60	250	400	65	45	200	300
16	115	80	300	500	90	60	250	400
25	150	100	400	700	115	80	300	500
35	175	125	500	800	135	100	400	600
50	215	160	600	1 000	165	125	500	750
70	265	200	—	1 200	200	160	600	900
95	310	250	—	1 400	240	200	—	1 100
120	350	250	—	1 600	270	200	—	1 200
150	395	300	—	1 800	305	250	—	1 400
185	450	300	—	2 000	345	250	—	1 500
240	515	400	—	2 300	390	300	—	1 700

Tabelul 3.5

Cabluri cu patru conductoare, cu izolația din PVC, pozate în pămînt la +20°C

s mm²	Cupru				Aluminiu			
		Iluminat	Forță			Iluminat	Forță	
	I_n A	$I_{n\ sig}$ A	$I_{n\ sig}$ A	I_{reglat} A	I_n A	$I_{n\ sig}$ A	$I_{n\ sig}$ A	I_{reglat} A
1,5	20	15	60	90	—	—	—	—
2,5	30	20	100	140	20	15	60	90
4	40	25	125	180	30	20	100	140
6	50	35	160	220	40	25	125	180
10	70	45	200	320	55	35	160	250
16	90	60	250	400	70	45	200	320
25	120	80	350	550	90	60	250	400
35	145	100	400	650	115	80	300	500
50	180	125	500	800	140	100	400	600
70	225	160	600	1 000	170	125	500	750
95	270	200	—	1 200	205	160	600	900
120	315	250	—	1 400	245	200	—	1 100
150	360	300	—	1 600	280	200	—	1 200
185	410	300	—	1 800	315	250	—	1 400
240	470	350	—	2 100	370	300	—	1 600

Tabelul 3.6

Coloane cu două conductoare montate în tuburi, cu izolația de cauciuc sau PVC la +25°C

s mm²	Cupru				Aluminiu			
	I_n A	Iluminat	Forță		I_n A	Iluminat	Forță	
		$I_{n\,sig}$ A	$I_{n\,sig}$ A	I_{reglat} A		$I_{n\,sig}$ A	$I_{n\,sig}$ A	I_{reglat} A
1,5	17	10	45	80	—	—	—	—
2,5	24	15	80	110	18	10	60	75
4	34	25	100	150	25	15	80	110
6	41	35	125	180	32	20	100	150
10	60	45	160	270	45	35	125	200
16	75	60	200	350	55	45	160	250
25	100	80	300	450	75	60	225	350
35	120	100	350	550	90	60	300	400
50	135	160	400	750	125	80	350	550
70	200	200	600	900	155	100	500	700
95	245	200	—	1 100	190	125	600	850
120	280	200	—	1 300	215	160	—	950
150	320	250	—	1 400	245	200	—	1 100

Tabelul 3.7

Coloane cu patru conductoare, montate în tuburi, cu izolația de cauciuc sau PVC, la +25°C

s mm²	Cupru				Aluminiu			
	I_n A	Iluminat	Forță		I_n A	Iluminat	Forță	
		$I_{n\,sig}$ A	$I_{n\,sig}$ A	I_{reglat} A		$I_{n\,sig}$ A	$I_{n\,sig}$ A	I_{reglat} A
1,5	14	10	45	60	—	—	—	—
2,5	22	15	60	100	17	10	45	80
4	27	20	80	120	20	15	60	90
6	35	25	100	160	27	20	80	120
10	45	35	125	200	35	25	100	160
16	65	45	160	300	50	35	160	200
25	80	60	250	350	60	45	160	270
35	100	80	300	450	75	60	225	350
50	135	100	400	600	105	80	300	500
70	165	100	500	750	125	80	400	550
95	200	160	600	900	155	100	500	700
120	230	160	—	1 000	175	125	500	800
150	260	200	—	1 200	205	160	600	900

miniu, cu izolația din cauciuc sau PVC, introduse în tuburi de protecție metalice sau din PVC.

În funcție de curentul nominal al conductoarelor, datele pentru instalațiile de protecție se stabilesc pe baza metodologiei indicate anterior.

În tabelele 3.6 și 3.7 sînt centralizate datele pentru protecția coloanelor cu două, respectiv patru conductoare, considerînd temperatura mediului ambiant de +25°C.

3.5. Protecția motoarelor electrice

În instalațiile industriale, marea majoritate a motoarelor electrice de joasă tensiune sînt de tipul asincron, cu puteri care nu depășesc în general 100 kW.

Conform normativului, motoarele electrice se prevăd cu următoarele sisteme de pornire:

— pornire directă de la motoarele electrice cu rotorul în scurtcircuit, cu puterea maximă de 3 kW la tensiunea de 220/127 V și 5,5 kW la 380/220V;

— pornire prin comutator stea-triunghi la motoarele electrice cu rotorul în scurtcircuit, cu puteri între 3 ... 10 kW la 220/127 V și 5,5 ... 14 kW la 380/220 V;

— pornire prin autotransformator la motoarele electrice cu rotorul în scurtcircuit, la puteri mai mari;

— pornire prin reostat rotoric la motoarele electrice cu rotorul bobinat, la puteri mai mari.

Motoarele electrice cu rotorul în scurtcircuit, cu pornire directă, produc un șoc de curent de pornire inițial mare ($4 \ldots 8\ I_n$), care scade în timp pînă la curentul nominal. În fig. 3.1 este reprezentată curba curentului de pornire. Mărimea șocului curentului de pornire și timpul necesar pînă la terminarea pornirii (deci forma concretă a curbei) depind atît de caracteristicile motorului electric, cît și de caracteristica mecanismului antrenat.

În cazul pornirii prin celelalte metode, șocul de pornire este mai redus, în unele cazuri nedepășind curentul nominal al motorului electric.

Din cauza acestui fenomen apar dificultăți la protecția corectă contra suprasarcinilor și a scurtcircuitelor,

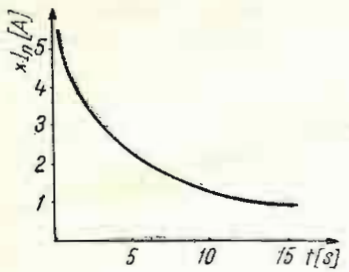


Fig. 3.1

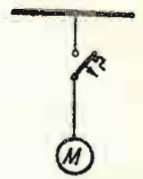


Fig. 3.2

întrucît, de obicei, nu este cunoscută forma concretă a curbei de pornire la ansamblul motor electric — mecanism.

Motoarele electrice necesită în mod deosebit o protecție sensibilă contra supraîncărcărilor, întrucît curentul statoric poate crește la valori nu mult peste curentul nominal în următoarele regimuri anormale:

— rămînerea în două faze cînd din diferite motive se întrerupe alimentarea unei faze;

— scurtcircuit între spirele vecine ale înfășurării unei faze.

Cea mai bună protecție a motoarelor electrice poate fi asigurată cu întreruptoare sau contactoare prevăzute cu relee termice și electromagnetice, conform schemei reprezentate în fig. 3.2.

Releele termice se reglează la valoarea curentului nominal al motorului electric. În cazul apariției unui supracurent dintr-o cauză oarecare, releele vor comanda declanșarea întreruptorului cu o temporizare conform caracteristicii respective. Aceste caracteristici sînt de obicei astfel elaborate, încît declanșarea are loc înainte

ca izolaţia înfăşurării statorice să atingă o temperatură periculoasă.

La pornirea motorului electric, şocul de curent este sesizat de releele termice ca un supracurent şi, dacă pornirea durează un timp prea lung, este în unele cazuri posibil să se producă o declanşare nedorită. Acest fenomen se poate evita utilizînd relee termice cu o caracteristică mai lentă, aşa cum se livrează de către unele firme.

În prezent nu există o metodă precisă şi pusă la punct pentru a se da indicaţii în privinţa alegerii caracteristicii releelor termice la diversele tipuri de motoare electrice, mai ales în cazul pornirilor grele.

Releele electromagnetice care funcţionează rapid (10 ... 30 ms) trebuie reglate la o valoare de curent mai mare decît curentul de şoc la pornire. Valorile cele mai ridicate trebuie folosite la motoarele electrice cu pornire directă, unde se ajunge uneori la un reglaj egal cu 10 I_n.

La pornirea prin alte metode reglajul poate fi mai coborît, în funcţie de valoarea şocului de pornire şi de posibilităţile de reglaj ale releelor, care de obicei nu pot fi reglate la mai puţin de 5 I_n. Se recomandă ca reglarea releelor electromagnetice să se facă pe baza unor încercări de pornire, alegîndu-se reglajul cel mai coborît la care nu se produce sigur declanşarea.

Releele electromagnetice au rolul principal de a produce declanşarea la apariţia unui scurtcircuit puternic în înfăşurările motorului electric sau în coloana de alimentare. Din motive de sensibilitate, trebuie ca reglajul să nu fie făcut la valori mai ridicate decît este necesar în condiţiile de pornire.

La protejarea prin întreruptoare automate, este necesar de obicei ca acestea să fie prevăzute cu bobină de minimă tensiune, declanşîndu-se întreruptorul la întreruperea tensiunii din reţea. Astfel, repornirea va trebui efectuată de personalul de exploatare al maşinii, ceea ce poate fi uneori necesar din motive tehnologice sau din cauza pericolului ce l-ar prezenta pentru personal o pornire necontrolată.

Motoarele electrice care nu permit repornirea directă la reţea după apariţia tensiunii se vor dota categoric cu protecţie de tensiune minimă; în schimb cele care pot şi trebuie să repornească imediat după apariţia tensiunii nu se vor echipa cu această protecţie.

Prin funcţionarea sa rapidă (20 ... 30 ms) protecţia de minimă tensiune (atît la contactoare, cît şi la întreruptoare) produce deconectări inutile ale motoarelor electrice la variaţii scurte ale tensiunii cauzate de diferite scurtcircuite în reţea. Pentru evitarea acestui neajuns, în prezent se utilizează sisteme de temporizare cu condensatoare conform schemei reprezentate în fig. 2.15 care se pot adapta şi la instalaţiile existente prin construcţii adecvate. Această măsură este deosebit de utilă în anumite instalaţii industriale cu flux tehnologic continuu, evitîndu-se întreruperea nedorită a procesului de producţie.

Fig. 3.3

În anumite cazuri, protecţia motoarelor electrice de putere mai mică se face cu contactoare în ulei (tip DITU) care sînt prevăzute numai cu relee termice. Protecţia contra scurtcircuitelor se realizează prin siguranţe suplimentare, conform fig. 3.3.

Stabilirea curentului nominal al acestor siguranţe trebuie făcută ţinînd seama de şocul de curent la pornire şi de durata pornirii. Pentru calcule aproximative pot fi folosite formulele următoare:

Siguranţe rapide:

— pentru motoare electrice cu pornire uşoară şi de durată scurtă (3 ... 10 s)

$$I_{n\,sig} = \frac{I_p}{2{,}5},$$

unde I_p este curentul maxim de pornire, în A;

— pentru motoare electrice cu pornire grea şi de durată mare (20 ... 40 s), cu porniri frecvente

$$I_{n\,sig} = \frac{I_p}{1{,}6-2}.$$

Siguranțe lente:

— pentru motoare electrice cu pornire ușoară

$$I_{n\,sig}=I_n.$$

Schema reprezentată în fig. 3.3 se utilizează și în cazurile cînd se folosește un întreruptor sau contactor cu protecție completă, însă capacitatea sa de rupere este insuficientă față de curentul de scurtcircuit posibil la locul de instalare.

Motoarele electrice de putere mică (sub 1 kW) sau de mică importanță, sau la care nu este posibilă o suprasarcină, pot fi protejate numai prin siguranțe. În măsura posibilităților se recomandă utilizarea siguranțelor lente, care pot fi alese cu un curent nominal mai redus, protecția contra scurtcircuitelor fiind astfel mai sensibilă.

Exemplul 1. Fie un motor electric asincron de 5 kW, 380/220 V, cos φ=0,8, care antrenează un mecanism cu pornire ușoară. Pornirea se face prin conectare directă la rețea.

Curentul nominal al motorului electric este

$$I_n=\frac{5\,000}{1{,}73\cdot 380\cdot 0{,}8}=9{,}5\text{ A}.$$

Se alege un întreruptor DITU-25 cu relee de 10 A.

Releul termic se reglează la 9,5 A (estimînd valoarea pe scala releului).

Presupunînd că șocul de pornire are valoarea 6,5 I_n, se aleg siguranțe rapide de

$$I_{n\,sig}=\frac{6.5\cdot 9{,}5}{2{,}5}=26\text{ A (normalizat 25 A)},$$

sau siguranțe lente de

$$I_{n\,sig}=9{,}5\text{ A (normalizat 10 A)}.$$

Prin probe de pornire repetate se verifică dacă siguranțele nu se ard; în caz contrar se vor alege cu o treaptă mai mari.

Exemplul 2. Se consideră un motor electric asincron cu rotorul bobinat și reostat de pornire, de 100 kW, 380/220 V, cos φ=0,87. Șocul de curent la pornire este aproximativ egal cu 2,5 I_n.

Curentul nominal este

$$I_n=\frac{100\,000}{1{,}73\cdot 380\cdot 0{,}87}=175\text{ A}.$$

Se alege un întreruptor AMT 200 cu relee de 200 A. Releele termice se reglează la 175 A.

Curentul de pornire este I_p=2,5·175=438 A.

Releele electromagnetice se reglează la 1000 A (valoare minimum posibilă de reglaj), ceea ce asigură în orice caz condițiile de pornire.

3.6. Protecția transformatoarelor

Rețelele de distribuție sau instalațiile industriale de joasă tensiune sînt alimentate din sistemul energetic prin transformatoare coborîtoare. Tensiunile lor nominale primare pot fi de 6, 10, 15, 20 sau 35 kV, iar cele secundare 220/127, 380/220 sau 500 V. Puterea transformatoarelor coborîtoare, în scara standardizată, cuprinde valorile de 50, 100, 160, 250, 400, 630, 1000 și 1600 kVA.

Protecția transformatoarelor contra defectelor interne este montată pe partea de înaltă tensiune, utilizîndu-se fie siguranțe, fie întreruptoare cu diferite sisteme de protecție.

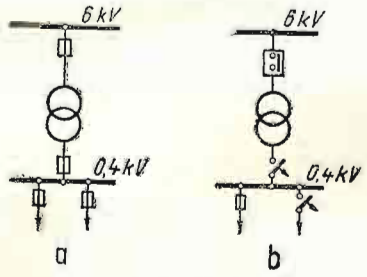


Fig. 3.4

Protecția contra suprasarcinilor și a defectelor exterioare este de obicei realizată pe partea de joasă tensiune, utilizîndu-se siguranțe sau întreruptoare automate (fig. 3.4).

În rețelele de distribuție publice se preferă realizarea protecției prin siguranțe dimensionate la curentul nomi-

nal al transformatorului respectiv. Această soluție este economică, însă protecția la suprasarcini mici nu este sensibilă întrucît siguranțele nu se topesc decît la curenți mai mari de 1,3 $I_{n\,stg}$.

În cazurile cînd practic nu pot apărea suprasarcini și consumul are un specific de iluminat, funcțiunea acestor siguranțe este satisfăcătoare, mai ales în cazul scurtcircuitelor pe barele colectoare de joasă tensiune.

Protecția pe partea de înaltă tensiune trebuie astfel reglată încît să funcționeze selectiv față de siguranțele de joasă tensiune.

Siguranțele pot fi montate în mod normal pînă la curenți nominali de cel mult 600 A. La curenți mai mari se poate admite uneori montarea a două siguranțe în paralel, ceea ce ridică limita de curent la 1200 A, valoare suficientă pentru transformatoarele cele mai mari utilizate în mod curent (400 ... 630 kVA).

În instalațiile industriale, transformatoarele sînt de obicei de putere mare (630 ... 1600 kVA), iar sarcina prezintă variații și uneori suprasarcini de scurtă durată. De asemenea este necesar să existe un aparat de manevră care să permită întreruperea sarcinii de către personalul de exploatare.

Din aceste motive, transformatoarele se prevăd de regulă cu întreruptoare automate de tip linie (fără bobină de tensiune minimă), dimensionate în funcție de curentul nominal al transformatorului respectiv.

Releele termice se reglează la valoarea curentului nominal al transformatorului, realizînd o bună protecție la suprasarcină.

Reglajul releelor electromagnetice poate fi făcut la valori între 3 ... 6 I_n, alegîndu-se de preferință valori mai reduse pentru a nu se crea o neselectivitate cu protecția de pe partea de înaltă tensiune. Reglajul ales trebuie să nu conducă la delanșări ca urmare a șocurilor de curent care apar în funcționare. Întrucît protecția electromagnetică este rapidă, există o neselectivitate a acesteia față de protecția circuitelor de plecare, fapt care se va

analiza ulterior. Din acest motiv este foarte indicată utilizarea unor sisteme de temporizare scurtă de tipul celor descrise la cap. 2.

În afara transformatoarelor menționate, în unele instalații există diferite transformatoare de joasă tensiune, de puteri mai mici, utilizate în diferite scopuri ca:

— transformatoare de sudură;

— transformatoare cu tensiune redusă în secundar etc.

În mod similar, aceste transformatoare se pot proteja cu siguranțe sau întreruptoare automate, ținînd seama de criteriile expuse mai sus, adică:

— siguranțe dimensionate la curentul nominal, la transformatoarele care nu se pot practic supraîncărca, au putere mică și sînt puțin importante;

— întreruptoare automate la transformatoare mai mari, cu regim de încărcare variabil.

Exemplul 1. Un transformator de rețea de 6/0,4 kV are puterea de 400 kVA.

Curentul nominal pe partea de joasă tensiune este

$$I_n = \frac{400\,000}{1{,}73 \cdot 400} = 580 \text{ A}.$$

Se alege o siguranță de 600 sau 630 A, de tipul MPR. Dacă nu se dispune decît de siguranțe lamelare de zinc, se montează în paralel două siguranțe de 300 A.

Exemplul 2. Un transformator de rețea de 15/0,4 kV are puterea de 630 kVA.

$$I_n = \frac{630\,000}{1{,}73 \cdot 400} = 912 \text{ A}.$$

Se montează în paralel două siguranțe tip MPR de 500 A.

Nu se recomandă montarea în paralel a trei siguranțe lamelare de zinc de 300 A, datorită distribuției inegale a curenților. În acest caz se va prefera montarea unui întreruptor automat OTOMAX-1000, cu relee pentru 1000 A.

Releele termice se vor regla la circa 900 A, iar releele electromagnetice la circa 3000 A. Dacă se dispune, se va prefera un întreruptor cu protecție temporizată pentru a realiza o selectivitate față

de protecția prin siguranțe a plecărilor din tabloul de joasă tensiune.

Exemplul poate fi valabil și pentru un transformator de abonat.

Exemplul 3. Un transformator de sudură, monofazat, de 220 V are puterea de 12 kVA.

$$I_n = \frac{12\,000}{220} = 54{,}7 \text{ A}.$$

Se aleg siguranțe de 60 A, întrucît funcțional nu există posibilitatea suprasarcinii.

3.7. Protecția condensatoarelor

Bateriile de condensatoare se utilizează în instalațiile industriale pentru îmbunătățirea factorului de putere. În cazul montării centralizate la tabloul general de joasă tensiune, protecția poate fi realizată atît cu siguranțe, cît și cu întreruptoare automate.

Din cauza șocului de curent tranzitoriu care apare la conectarea sub tensiune a condensatoarelor, este necesar ca protecția să țină seama de acest fenomen.

Curentul de regim al condensatoarelor este mai mare decît cel nominal din cauza armonicilor superioare sau a tensiunii mai ridicate decît cea nominală. Acest regim, însă, nu are caracter de suprasarcină și nu este periculos.

Alegerea siguranțelor se poate face orientativ pe baza formulei

$$I_{n\,sig} = 1{,}2 \ldots 2\, I_n.$$

Reglajul releelor termice se face la

$$I_{n\,reglaj} \simeq 1{,}2\ I_n,$$

iar al releelor electromagnetice la aproximativ

$$I_{reglaj} \approx 4 \ldots 8\, I_n.$$

4. Calculul curenților de scurtcircuit

4.1. Generalități

În orice instalație electrică există posibilitatea producerii unor scurtcircuite, datorită deteriorării izolației sau greșelilor de lucru ale personalului de exploatare.

Curenții de scurtcircuit care rezultă pot avea în unele situații valori foarte mari, solicitînd instalațiile din punct de vedere termic și dinamic. Încălzirea anumitor circuite peste limita admisibilă constituie un pericol de incendiu, în timp ce eforturile mecanice mari pot produce deteriorări de aparataj sau părți de instalații.

Prin protecția corespunzătoare a diferitelor elemente din instalațiile de joasă tensiune, așa cum s-a arătat în capitolul precedent, se poate evita ca aceste fenomene să ia amploare deosebită, porțiunea defectă fiind deconectată cît mai rapid de la rețea.

În timpul scurtcircuitului apare o scădere a tensiunii la instalațiile din apropierea zonei defecte, care afectează funcționarea normală a consumatorilor pe toată durata defectului. Este posibil să se producă declanșarea contactoarelor sau întreruptoarelor prevăzute cu bobine de minimă tensiune, ceea ce poate avea urmări nefavorabile asupra producției în instalațiile industriale. Din acest motiv este de dorit ca deconectarea porțiunii defecte, prin protecție, să se facă cît se poate de rapid (sub 20 ms) sau să se prevadă temporizări la protecțiile de minimă tensiune.

Pentru dimensionarea corectă a protecțiilor în instalațiile de joasă tensiune este necesară cunoașterea curenților de scurtcircuit în diferite puncte din rețea sau din instalații, pentru următoarele motive:

— alegerea unor aparate de protecție (siguranțe și întreruptoare) cu o capacitate de rupere superioară curentului de scurtcircuit la locul instalării;
— verificarea în ansamblu a sensibilității și a selectivității protecției.

Rețelele de joasă tensiune sînt alimentate de obicei din rețele de medie tensiune (6 . . . 35 kV) prin transformatoare coborîtoare, instalate în posturi sau stații de transformare. Aceste transformatoare au puteri nominale între 10 și 1600 kVA, conexiunea $\Delta/\curlywedge$, tensiunea secundară nominală de 400 V și tensiunea de scurtcircuit între 4 și 6%.

În cele ce urmează se va expune metoda de calcul a curenților de scurtcircuit trifazat și monofazat, acestea fiind cazurile extreme și cele mai reprezentative.

Pentru calculul componentei periodice a curentului de scurtcircuit trifazat în rețeaua de joasă tensiune se utilizează formula

$$I_{sc}^{(3)} = \frac{U}{\sqrt{3}\, Z_d} \cdot 10^3 [A],$$

în care: I_{sc} este curentul de scurtcircuit în rețeaua de joasă tensiune, în A;

U — tensiunea nominală secundară între faze a transformatorului, în V;

Z_d — impedanța directă totală pe fază, de la sursă pînă la locul defect, în mΩ.

În cazul general, impedanța totală de defect se compune vectorial din impedanța sistemului energetic, cea a transformatorului și cea a rețelei de joasă tensiune pînă la locul defect, raportate la tensiunea rețelei, respectiv la 400 V.

Pentru calculul exact al componentei periodice a curentului de scurtcircuit monofazat trebuie utilizată metoda componentelor simetrice. Formula de calcul este

$$I_{sc}^{(1)} = 3 \frac{U}{\sqrt{3}\,(Z_d + Z_i + Z_h)} \cdot 10^3 [A],$$

unde Z_d, Z_i, Z_h, reprezintă impedanțele, directă, inversă și respectiv homopolară ale elementelor dintre sursă și locul defect, a căror determinare se va explicita ulterior.

Impedanțele Z care intră în formule conțin atît rezistențe pure R, cît și reactanțe inductive X. Caracteristică pentru rețelele de joasă tensiune este valoarea mare a

rezistenței cablurilor, coloanelor și liniilor aeriene, care nu pot fi neglijate, ca în cazul rețelelor de înaltă tensiune. La acestea se adaugă rezistențele de contact ale aparatajului (întreruptoare, siguranțe), ale legăturilor între bare și ale clemelor, rezistența transformatoarelor de curent precum și a arcului electric. Efectul acestora este o micșorare a curenților de scurtcircuit calculați, mai ales pentru defectele care se produc în apropierea transformatorului.

4.2. Determinarea elementelor de calcul

a. **Reactanța sistemului.** Valoarea reactanței sistemului se calculează cunoscînd puterea de scurtcircuit a rețelei de medie tensiune la locul de instalare a transformatorului (valoarea se poate afla de la întreprinderile regionale de electricitate).

Formula de calcul este

$$X_d = \frac{U^2}{S_s} \cdot 10^{-3},$$

în care: X_d este reactanța directă a sistemului, în mΩ/fază;

U — tensiunea secundară a transformatorului (400 V);

S_s — puterea de scurtcircuit a sistemului, în MVA.

În tabelul 4.1 sînt calculate la tensiunea de 400 V valorile reacției sistemului, pentru cîteva valori uzuale ale puterii de scurtcircuit.

Valoarea reactanței inverse a sistemului este egală cu cea directă

$$X_i = X_d,$$

iar reactanța homopolară și rezistența ohmică ale sistemului nu se iau în considerare.

Tabelul 4.1

Reactanța sistemului energetic

S_s, MVA	50	100	150	200	300	400	600
X_d, m Ω/fază	3,2	1,6	1,0	0,8	0,5	0,4	0,27

b. **Reactanța transformatorului.** Valoarea reactanței se deduce din puterea nominală și tensiunea de scurtcircuit a transformatorului

$$X_d = u_k \cdot \frac{U^2}{S_t} 10^{-2},$$

în care: X_d este reactanța directă a transformatorului, în mΩ fază;

U — tensiunea secundară a transformatorului (400 V);

u_k — tensiunea de scurtcircuit, în %;

S_t — puterea nominală a transformatorului, în kVA.

În tabelul 4.2 sînt calculate reactanțele seriei de puteri nominale standardizate, cu tensiunile de scurtcircuit de 4,5 și 6%.

Reactanțele directă, inversă și homopolară se consideră egale (pentru transformatoare cu conexiunea $\Delta/\curlywedge$)

$$X_d = X_i = X_h.$$

Se neglijează rezistența ohmică a transformatorului.

c. **Cabluri și coloane trifazate (cu patru conductoare).** Pentru reactanțe, se vor considera valorile medii:

$X_d = X_i = 70$ mΩ/km, pentru un conductor (fază sau nul),

$$X_h = 4X_d = 280 \text{ m}\Omega/\text{km}.$$

Pentru rezistențe, se va ține cont de secțiunile și rezistențele diferite ale conductoarelor de fază R_F și nul R_N. Aceste valori se pot lua din tabelul 4.3, unde sînt

Tabelul 4.2

Reactanța transformatoarelor

S_t, kVA		25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600
X_d, mΩ /faza	u_k, %										
	4	256	160	101	64	40	25,6	16	10,1	6,4	4
	5	320	200	127	80	50	32	20	12,7	8	5
	6	384	240	152	96	60	38,4	24	15,2	9,6	6

Tabelul 4.3

Rezistența conductoarelor

s, mm²		2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
R, mΩ/km	Al	11800	7320	4900	2940	1810	1190	845	598	435	309	246	196	158	126
	Cu	7130	4470	2970	1786	1123	738	525	372	271	192	153	122	98	78

date valorile specifice (mΩ/km) ale conductoarelor din aluminiu și cupru, pentru diferite secțiuni.

Pentru componentele simetrice, se va considera:

$R_d = R_i = R_F$;

$R_h = R_F + 3R_N$.

d. **Cabluri și coloane monofazate (cu două conductoare).** În acest caz ambele conductoare au aceeași secțiune. Reactanțele au aceleași valori ca la punctul c, iar pentru rezistențe avem:

$R_d = R_i = R_F$;

$R_h = 4R_F$.

e. **Linii aeriene trifazate (cu patru conductoare).**

$X_d = X_i = 300$ mΩ/km

$X_h = 4X_d = 1\,200$ mΩ/km.

Pentru rezistențe se aplică relația de la punctul c.

f. **Linii aeriene monofazate (cu două conductoare).** Pentru reactanțe se iau valorile de la punctul e, iar pentru rezistențe relațiile de la punctul d.

4.3. Metoda de calcul

O dată determinate, pentru un anumit caz de scurtcircuit, valorile componentelor simetrice ale reactanțelor și rezistențelor tuturor elementelor din circuitul considerat, se pot calcula curenții de scurtcircuit trifazat și monofazat cu relațiile din § 4.1.

În cele ce urmează, în baza calculului cu metoda componentelor simetrice și ținînd cont de valorile homopolare specifice transformatoarelor și rețelelor de joasă tensiune, se va expune o metodologie practică de calcul simplificată, care operează numai cu valorile directe (naturale) ale reactanțelor și rezistențelor.

Formula de calcul generală utilizată este:

$$I_{sc} = \frac{U}{\sqrt{3}\, Z_{sc}}\, 10^3 [A].$$

Se vor utiliza următoarele unități de măsură: X, R, Z, în mΩ; U, în V; I, în A.

Pentru determinarea lui Z_{sc} (impedanța căii de scurtcircuit) se va proceda după cum urmează:

Scurtcircuit trifazat simetric. Se va considera impedanța *pe fază* a tuturor elementelor dintre sursă și defect: sistem, transformator și rețea de joasă tensiune. Pentru sistem și transformator se iau numai valorile reactanțelor, iar pentru rețea atît reactanța cît și rezistența conductoarelor de fază. Se folosesc următoarele notații:

X_s — reactanța sistemului;
X_t — reactanța transformatorului;
X_{rF} — reactanța fazei rețelei de joasă tensiune;
R_{rF} — rezistența fazei rețelei de joasă tensiune.

Cu acestea, impedanța de scurtcircuit este

$$Z_{sc}^{(3)} = \sqrt{(X_s + X_t + X_{rF})^2 + R_{rF}^2}.$$

Curentul de scurtcircuit se calculează cu relația

$$I_{sc}^{(3)} = \frac{400}{\sqrt{3}\, Z_{sc}^{(3)}} \cdot 10^3 = \frac{231}{Z_{sc}^{(3)}} \cdot 10^3 \text{ [A]}.$$

Scurtcircuitul monofazat. Se vor distinge două cazuri:

1. Pentru scurtcircuitul situat imediat lîngă bornele de joasă tensiune ale transformatorului, se consideră în calcul numai reactanțele *pe fază* ale sistemului și transformatorului

$$Z_{sc}^{(1)} = (X_s + X_t)$$

$$I_{sc}^{(1)} = \frac{400}{\sqrt{3}\, Z_{sc}^{(1)}} \cdot 10^3 = \frac{231}{Z_{sc}^{(1)}} \cdot 10^3 \text{ [A]}.$$

Este de remarcat că, pentru acest caz, curentul de scurtcircuit monofazat are aceeași valoare cu cel trifazat.

2. Pentru un scurtcircuit situat undeva în rețeaua de joasă tensiune, se adaugă reactanța și rezistența *buclei de defect*, deci a conductoarelor *de fază și de nul* ale rețelei.

Se folosesc următoarele notații:

X_{rN} — reactanța nulului rețelei (egală cu cea a fazei);

R_{rN} — rezistența nulului rețelei (diferită de cea a fazei).

Cu acestea avem:

$$Z_{sc}^{(1)} = \sqrt{(X_s + X_t + 2X_{rF})^2 + (R_{rF} + R_{rN})^2};$$

$$I_{sc}^{(1)} = \frac{231}{Z_{sc}^{(1)}} \cdot 10^3 [\text{A}].$$

Se observă că impedanța crește apreciabil datorită nulului rețelei, astfel încît curenții de scurtcircuit monofazat în rețele au valori mult mai mici decît cei trifazați. De acest fapt trebuie ținut seama la verificarea sensibilității protecției prin siguranțe sau întreruptoare automate.

4.4. **Exemple de calcul de scurtcircuit**

Exemplul 1. Se consideră un post de transformare rural conectat la o rețea de medie tensiune de 20 kV, alimentînd o rețea de joasă tensiune radială, cu branșamente la doi consumatori principali (fig. 4.1)

Datele sistemului, ale transformatorului și ale rețelei sînt indicate pe figură. Se vor calcula curenții de scurtcircuit trifazat și monofazat în punctele K_1, K_2, K_3 și K_4, indicîndu-se unele criterii pentru alegerea tipurilor și valorii siguranțelor.

Scurtcircuit în K_1 (barele postului de transformare)

Reactanța sistemului (din tabelul 4.1) este

$$X_s = 1{,}6 \text{ m}\Omega.$$

Reactanța transformatorului (din tabelul 4.2) este

$$X_t = 80 \text{ m}\Omega.$$

Cu acestea, avem:

$$Z_{sc}^{(3)} = Z_{sc}^{(1)} = X_s + X_t = 81{,}6 \text{ m}\Omega$$

$$I_{sc}^{(3)} = I_{sc}^{(1)} = \frac{231}{81{,}6} \cdot 10^3 = \mathbf{2\,840} \text{ A}.$$

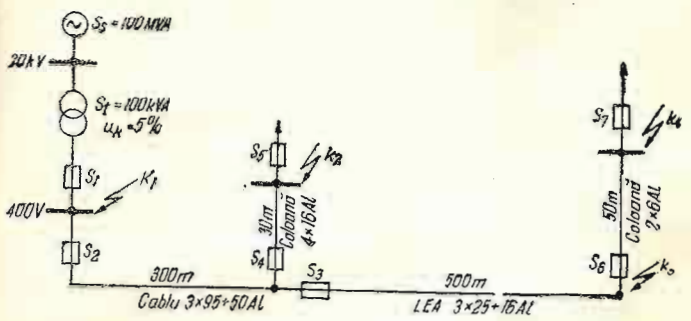


Fig. 4.1

Este de remarcat că în acest punct nu pot fi montate siguranțe de tip deschis (lamelare de zinc sau tubulare), acestea neavînd capacitatea de rupere necesară.

Scurtcircuit în K_2 (branșament de forță)

Reactanța și rezistența cablului 3×95+50 Al (tabelul 4.3) sînt:

$X_{1F} = X_{1N} = 0{,}3 \cdot 70 = 21 \text{ m}\Omega;$

$R_{1F} = 0{,}3 \cdot 309 = 92{,}7 \text{ m}\Omega;$

$R_{1N} = 0{,}3 \cdot 598 = 179{,}4 \text{ m}\Omega.$

Datele coloanei 4×16 Al:

$X_{2F} = X_{2N} = 0{,}03 \cdot 70 = 2{,}1 \text{ m}\Omega;$

$R_{2F} = R_{2N} = 0{,}03 \cdot 1810 = 54{,}3 \text{ m}\Omega.$

Cu aceste date, avem:

$X_{sc}^{(3)} = (X_s + X_t) + X_{1F} + X_{2F} = 81{,}6 + 21 + 2{,}1 = 104{,}7 \text{ m}\Omega;$

$R_{sc}^{(3)} = R_{1F} + R_{2F} = 92{,}7 + 54{,}3 = 147$ mΩ;

$Z_{sc}^{(3)} = \sqrt{104{,}7^2 + 147^2} = 180$ mΩ;

$I_{sc}^{(3)} = \frac{231}{180} \cdot 10^3 = \mathbf{1283}$ A.

$X_{sc}^{(1)} = (X_s + X_t) + 2X_{1F} + 2X_{2F} = 81{,}6 + 42 + 4{,}2 = 127{,}8$ mΩ;

$R_{sc}^{(1)} = R_{1F} + R_{1N} + 2R_{2F} = 92{,}7 + 179{,}4 + 108{,}6 = 380{,}7$ mΩ;

$Z_{sc}^{(1)} \sqrt{127{,}8^2 + 380{,}7^2} = 402$ mΩ;

$I_{sc}^{(1)} = \frac{231}{402} \cdot 10^3 = \mathbf{575}$ A.

Scurtcircuit în K_3 (capăt de linie aeriană)

Datele liniei aeriene 3×25+16 Al sînt:

$X_{3F} = X_{3N} = 0{,}5 \cdot 300 = 150$ mΩ;

$R_{3F} = 0{,}5 \cdot 1190 = 595$ mΩ;

$R_{3N} = 0{,}5 \cdot 1810 = 905$ mΩ.

Cu aceste date, avem:

$X_{sc}^{(3)} = (X_s + X_t) + X_{1F} + X_{3F} = 81{,}6 + 21 + 150 = 252{,}6$ mΩ;

$R_{sc}^{(3)} = R_{1F} + R_{3F} = 92{,}7 + 595 = 687{,}7$ mΩ;

$Z_{sc}^{(3)} = 720$ mΩ;

$I_{sc}^{(3)} = \mathbf{321}$ A.

$X_{sc}^{(1)} = (X_s + X_t) + 2X_{1F} + 2X_{3F} = 81{,}6 + 42 + 300 = 423{,}6$ mΩ

$R_{sc}^{(1)} = R_{1F} + R_{1N} + R_{3F} + R_{3N} = 92{,}7 + 179{,}4 + 595 + 905 =$

$= 1772{,}1$ mΩ

$Z_{sc}^{(1)} = 1820$ mΩ

$I_{sc}^{(1)} = \mathbf{127{,}5}$ A.

Se observă scăderea mare a curenților de scurtcircuit datorită liniei aeriene lungi și de secțiune redusă.

Scurtcircuit în K_4 (branșament casnic)

Datele coloanei 2×6 Al sînt:

$X_{4F} = X_{4N} = 0{,}05 \cdot 70 = 3{,}5$ mΩ;

$R_{4F} = R_{4N} = 0{,}05 \cdot 4900 = 245$ mΩ.

Pentru scurtcircuitul monofazat, avem:

$X_{sc}^{(1)} = (X_s + X_t) + 2X_{1F} + 2X_{3F} + 2X_{4F} = 430{,}6$ mΩ;

$R_{sc}^{(1)} = R_{1F} + R_{1N} + R_{3F} + R_{3N} + 2R_{4F} = 2262$ mΩ;

$Z_{sc}^{(1)}$ 2 310 mΩ;

$I_{sc}^{(1)} = \mathbf{100}$ A.

Curentul de scurtcircuit scade apreciabil datorită coloanei de secțiune redusă.

În continuare se vor expune unele considerente asupra sensibilității și selectivității protecției prin siguranțe în rețeaua analizată.

Curentul maxim de scurtcircuit în punctul K_1 nu are o valoare prea mare (sub 3 kA), din cauza puterii reduse a transformatorului. La un transformator de 250 kVA curentul ar fi avut valoarea de 6,7 kA. În schimb curenții de scurtcircuit la capătul rețelei, mai ales cei monofazați, scad foarte mult din cauza lungimii excesive a rețelei (800 m).

Din motive de tehnica securității, normativul I.7-62 prevede ca valoarea curentului nominal al siguranței care protejează un circuit să nu depășească 1/3 din valoarea curentului de scurtcircuit minim la capătul liniei protejate, adică să existe un coeficient de sensibilitate ,

$$k_s = \frac{I_{sc\ min}}{I_{n\ sig}} \geqslant 3.$$

În consecință, siguranța S_3 trebuie aleasă după formula

$$I_{n\ sig} = \frac{I_{sc\ min}}{3} = \frac{127{,}5}{3} = \mathbf{42{,}5}\ \text{A (normalizat 50 A).}$$

Calibrarea conform secțiunii (tabelul 3.1) ar fi dus la alegerea unei siguranțe de 125 A. Din cauza lungimii excesive a liniei, secțiunea conductoarelor nu poate fi folosită la capacitatea nominală.

Siguranța S_1 se alege de 160 A, tip MPR, apropiată de valoarea curentului nominal al transformatorului.

Siguranța S_2 rezultă din tabelul 3.5 de 160 A, însă din motive de selectivitate va trebui redusă cu două trepte față de siguranța transformatorului, rezultînd valoarea de 100 A. Siguranța S_2 astfel aleasă se încadrează selectiv între siguranțele S_1 și S_3, satisfăcînd sensibilitatea cerută față de scurtcircuitul în punctul K_2 (575 A).

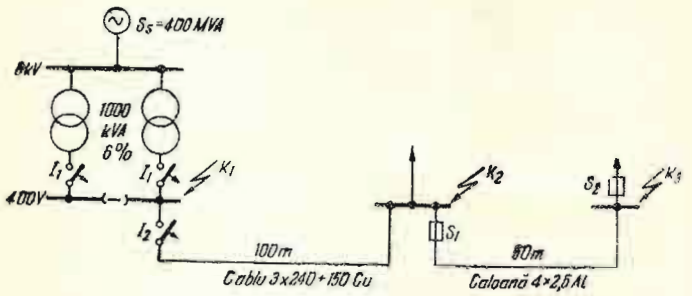


Fig. 4.2

Siguranța S_4 se alege de 35 A (tabelul 3.7) și este selectivă față de siguranța S_2. Siguranța S_5 se poate alege de cel mult 20 A.

Siguranța S_6 se alege de 20 A (tabelul 3.6) și este selectivă față de siguranța S_3. Siguranța S_7 se poate alege de 10 A.

Exemplul 2. Se consideră un post de transformare industrial de mare putere, cu două transformatoare de 1000 kVA funcționînd în paralel pe partea de joasă tensiune. Se consideră o plecare care alimentează un tablou de forță și în continuare altul de iluminat, urmînd a se calcula curenții de scurtcircuit trifazați în punctele K_1, K_2 și K_3 (fig. 4.2)

Scurtcircuit în K_1

Reactanța sistemului este

$X_s = 0{,}4$ mΩ.

Reactanța transformatoarelor în paralel este

$$X_t = \frac{1}{2} \cdot 9{,}6 = 4{,}8 \text{ mΩ}.$$

Rezultă:

$Z_{sc} = X_s + X_t = 5{,}2$ mΩ;

$$I_{sc}^{(3)} = \frac{231}{5{,}2} \cdot 10^3 = \mathbf{44\,500} \text{ A}.$$

Amplitudinea maximă a curentului de scurtcircuit inițial este

$$I_{şoc} \approx 2\, I_{sc}^{(3)} = 89\,000 \text{ A}.$$

Scurtcircuit în K_2

Reactanța și rezistența cablului:

$X_1 = 0{,}1 \cdot 70 = 7$ mΩ;

$R_1 = 0{,}1 \cdot 78 = 7{,}8$ mΩ.

Cu acestea avem:

$X_{sc} = (X_s + X_t) + X_1 = 12{,}2$ mΩ;

$R_{sc} = R_1 = 7{,}8$ mΩ;

$Z_{sc} = 14{,}4$ mΩ;

$I_{sc}^{(3)} = \mathbf{16\,100}$ A.

Scurtcircuit în K_3

Reactanța și rezistența coloanei:

$X_2 = 0{,}05 \cdot 70 = 3{,}5$ mΩ;

$R_2 = 0{,}05 \cdot 11\,800 = 590$ mΩ.

Cu acestea, avem:

$X_{sc} = (X_s + X_t) + X_1 + X_2 = 15{,}7$ mΩ;

$R_{sc} = R_1 + R_2 = 598$ mΩ;

$Z_{sc} = 598$ mΩ;

$I_{sc}^{(3)} = \mathbf{386}$ A.

Se observă că la barele postului de transformare curentul de scurtcircuit este extrem de mare (45 kA), datorită funcționării în paralel a transformatoarelor, ceea

ce impune condiţii foarte grele aparatajului de protecţie şi pune probleme de stabilitate termică şi dinamică. Dacă s-ar funcţiona pe bare separate, această valoare ar scădea practic la jumătate. Din aceste motive se recomandă ca pe o secţie de bare de joasă tensiune să funcţioneze transformatoare de cel mult 1000 kVA, prevăzînd eventual o automatizare pe cupla de bare.

În exemplul dat, în acest punct trebuie utilizate întreruptoare automate din ţară de tipul OTOMAX (care au capacitate de rupere de 50 kA), alegînd releele de protecţie cu curenţii nominali necesari. Ca siguranţe se pot folosi tipul cu filet sau cu mare putere de rupere din import (de exemplu Siemens sau AEG), cu capacitatea de rupere între 50 şi 100 kA. Şi la tabloul de forţă situaţia este destul de critică (16 kA). Pot fi folosite siguranţe din ţară, de tipul MPR, însă tipul cu filet numai gama 63 ... 100 A, iar pentru curenţi mai mici se vor utiliza tipuri din import. Ca întreruptoare din ţară pot fi utilizate, la limită, tipurile AMT 400 sau DITA 350, nu însă tipul AMT 200; pentru curenţi nominali mai mici trebuie să se recurgă la import. La tabloul de iluminat curentul de scurtcircuit este foarte mic şi nu se pun probleme la alegerea aparatajului de protecţie.

În continuare, se vor determina în primă aproximaţie caracteristicile aparatajului de protecţie şi reglajele necesare.

Astfel, întreruptoarele I_1 ale transformatoarelor se aleg de tipul OTOMAX 1600, cu declanşatoare temporizate Ksi de 1600 A. Treapta I a protecţiei se va regla la de 1,25 ori curentul nominal al transformatorului (1800 A) şi are rolul unei protecţii contra suprasarcinilor, cu temporizare mare. Treapta II de protecţie se reglează la $4I_{reglat}=6400$ A, alegînd o temporizare de 300 ms, din considerente de selectivitate faţă de protecţia rapidă a întreruptorului I_2. Treapta III de declanşare rapidă nu se pune în funcţiune sau se reglează la valori foarte mari (40 kA).

Întreruptorul I_2 se poate alege de tipul OTOMAX 1000, cu declanşator H pentru 600 A. Protecţia termică se reglează la valoarea curentului nominal al cablului

(515 A, din tabelul 3.4), iar declanşarea instantanee rezultă la 8 $I_{reglat} \approx 4100$ A. Această ultimă valoare depăşeşte indicaţia din tabelul 3.4 (2300 A), însă este asigurat totuşi, faţă de scurtcircuitul la tabloul de forţă, cu coeficient de sensibilitate

$$K_s = \frac{I_{sc}}{I_{decl}} = \frac{15\,800}{4\,100} = 3{,}8 > 1{,}5.$$

În fine, siguranţa S_1, protejînd un circuit de iluminat, se alege de 10 A, iar S_2 de 6 A sau mai mică.

Valorile nominale şi reglajele astfel stabilite trebuie verificate mai în detaliu din punctul de vedere al selectivităţii, pe baza curbelor caracteristice de protecţie, aşa cum se va arăta în capitolele 5 şi 6.

5. Analiza selectivităţii protecţiei în reţelele de distribuţie

5.1. Selectivitatea acţionării a două siguranţe

În reţelele de distribuţie protecţia instalaţiilor de joasă tensiune se realizează, din motive de simplitate, numai cu siguranţe. Problema fundamentală constă în stabilirea criteriilor de selectivitate într-un circuit în care sînt montate două siguranţe în serie S_1 şi S_2, cînd apare un scurtcircuit după siguranţa S_2 şi ambele siguranţe sînt străbătute de acelaşi curent I_{sc} (fig. 5.1).

Fig. 5.1

Curentul de scurtcircuit poate avea diferite valori şi selectivitatea trebuie menţinută în tot domeniul posibil al curenţilor.

În cazul cînd siguranţele sînt de acelaşi tip, de exemplu tipul cu filet şi caracteristică rapidă, problema este

mai simplă și se poate aplica regula empirică după care între curenții nominali ai siguranțelor S_1 și S_2 trebuie să fie o diferență minimă de două trepte în scara standardizată.

O altă regulă valabilă la siguranțele tip MPR, care conduce la rezultate asemănătoare, recomandă ca între curenții nominali ai siguranțelor S_1 și S_2 să existe un raport egal sau mai mare decît 1,6.

Necesitatea unei „distanțe" suficient de mari între siguranțe provine din dispersia caracteristicilor și din necesitatea ca fuzibilul siguranței S_1 să nu fie supraîncălzit pînă are loc topirea și întreruperea arcului electric la siguranța S_2.

Dacă caracteristicile siguranțelor au dispersii mari sau curenții de scurtcircuit au valori foarte mari ($I_{sc}=40\ldots50\ I_{n\,sig}$) este recomandabilă o diferențiere cu trei trepte.

În cadrul regulilor enunțate mai sus, la utilizarea siguranțelor cu filet se aleg valorile din tabelul 5.1.

Pentru siguranțele tip MPR se utilizează tabelul 5.2.

Tabelul 5.1

Selectivitatea între siguranțele cu filet

S_1	15	20	25	35	45	60	80	100
S_2	6	10	15	20	25	35	45	60

Tabelul 5.2

Selectivitatea între siguranțele tip MPR

S_1	160	200	250	315	300	500	600
S_2	100	125	160	200	250	315	400

Tabelele pot fi folosite pentru siguranțele din țară sau străine, cu condiția să fie de aceeași fabricație și să aibă același tip de caracteristică (lentă sau rapidă). În

cap. 1 se pot urmări curbele caracteristice la o serie de siguranțe din țară sau străine.

Problemele devin mai complicate dacă siguranțele sînt de tipuri sau de fabricații diferite sau au caracteristici de tip diferit (lente și rapide). În aceste cazuri regula enunțată mai sus nu mai are în general valabili-

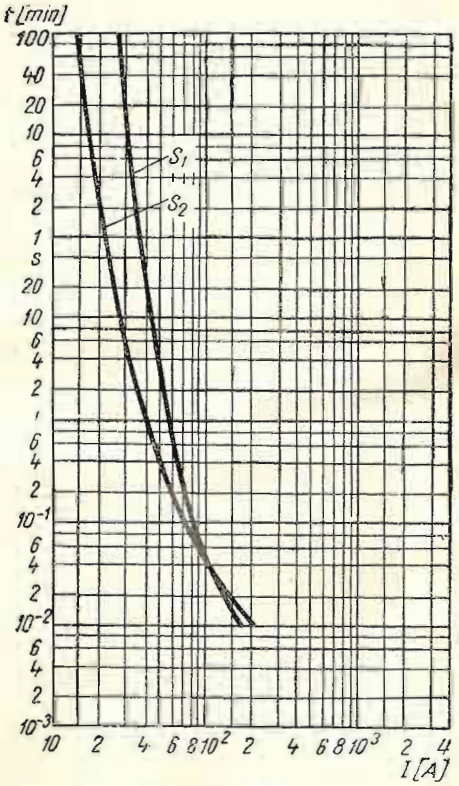


Fig. 5.2

tate. Ca exemplu se indică în diagrame următoarele cazuri clare de neselectivitate.

Astfel, în fig. 5.2 s-a considerat:

S_1 — siguranță Diazed rapidă de 20 A;

S_2 — siguranță Diazed lentă de 10 A.

Se observă intersecția curbelor la un curent de 100 A. Pentru o selectivitate bună este necesar să se adopte o siguranță S_1 de 36 A (deci o diferențiere cu patru trepte).

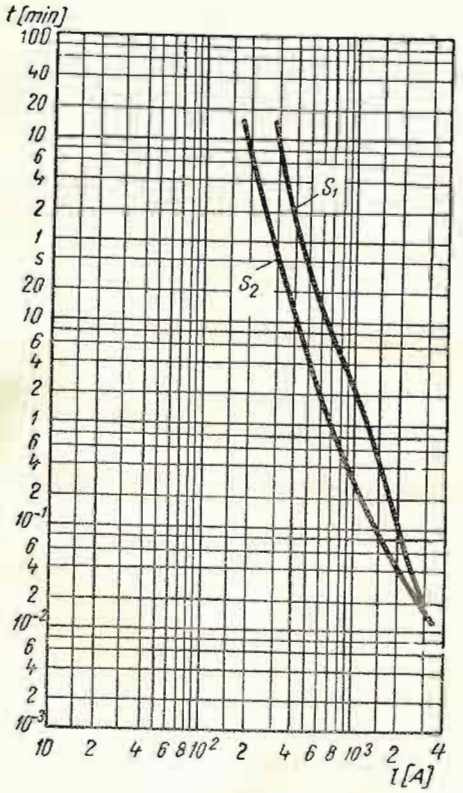


Fig. 5.3

În fig. 5.3 s-au reprezentat:
S_1 — siguranță R 1240 de 160 A;
S_2 — siguranță Diazed lentă de 100 A.

De asemenea curbele se intersectează la circa 3000 A, fiind necesar să se aleagă S_1 de 224 A (tot patru trepte).

În astfel de cazuri, aprecierea selectivității se face trasînd curbele siguranțelor, evitînd în orice caz intersecțiile și observînd dacă între curbe există o distanță suficientă. Pentru apreciere nu există reguli bine stabilite. Pe baza analizelor efectuate, se propune o metodă aproximativă care este explicată cu ajutorul diagramei reprezentate în fig. 5.4.

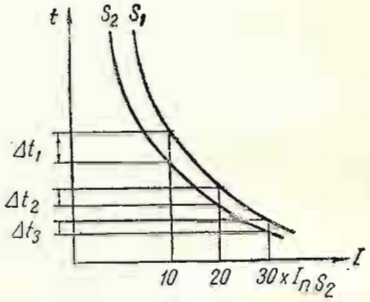


Fig. 5.4

Se trasează curbele celor două siguranțe și pe axa curenților se marchează valorile egale cu de 10, 20 și 30 ori curentul nominal al siguranței S_2. Ridicînd ordonatele respective, acestea întretaie cele două curbe și se obțin diferențele de timp Δt_1, Δt_2 și Δt_3.

Se poate considera că selectivitatea este asigurată atunci cînd:

— curbele caracteristice ale celor două siguranțe nu se intersectează sau dacă eventual se întîmplă acest lucru, punctul de intersecție se situează la o valoare a curentului mai mare decît curentul de scurtcircuit de la locul instalării siguranței S_2;

— diferențele de timp măsurate pe diagramă au valori egale sau mai mari decît:

$\Delta t_1 \geqslant 1$ s;

$\Delta t_2 \geqslant 0{,}05$ s;

$\Delta t_3 \geqslant 0{,}02$ s.

La siguranțele rapide și curenți nominali mici, se admit și valori mai reduse.

O problemă deosebită apare în cazul protecției instalațiilor casnice interioare, cînd siguranța S_2 se înlocuiește cu un automat tip Elfa (sau similar). În tabelul 2.2 sînt precizate valorile minime ale siguranței S_1 care

protejează branşamentul în cofret, pentru a se realiza o funcţionare selectivă.

În diagrama din fig. 5.5 este reprezentată curba unui automat tip H de 10 A (limita superioară a curbei de

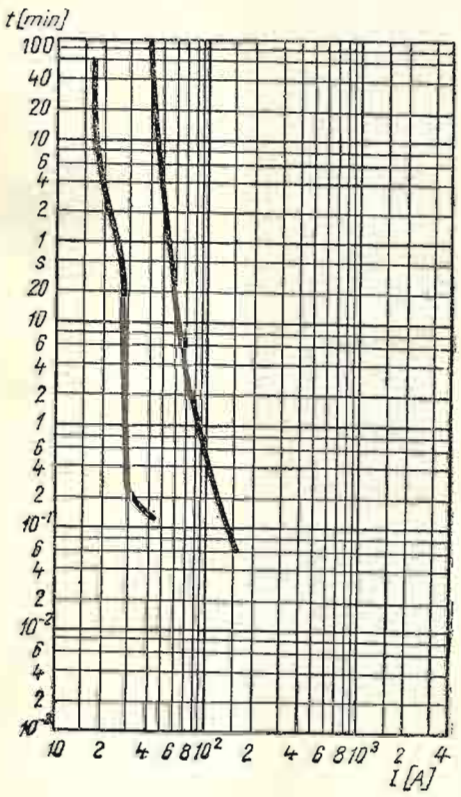


Fig. 5.5

dispersie) şi curba unei siguranţe Diazed rapide de 25 A. Se observă că selectivitatea este asigurată.

La analiza selectivităţii protecţiei reţelelor de distribuţie este necesar să se examineze şi protecţia instalată pe partea de medie tensiune a transformatoarelor.

În ţara noastră se utilizează următoarele sisteme de protecţie:

— siguranţe de înaltă tensiune tip FI;

— întreruptoare cu protecţie maximală rapidă tip DMI;

— întreruptoare cu protecţie maximală temporizată (cu relee primare sau secundare).

Curbele caracteristice ale acestor protecţii trebuie introduse în diagrame, verificînd gradul de selectivitate faţă de siguranţele montate pe partea de joasă tensiune ale transformatorului şi faţă de siguranţele plecărilor spre reţea.

Pentru trasarea curbelor în diagramă, se face o recalculare a valorilor de curent de pe abscisă, înmulţind curenţii fiecărui punct trasat cu raportul de transformare al transformatorului.

De exemplu, dacă din curba reală a protecţiei unui transformator de 15/0,4 kV luăm un punct cu coordonatele 150 A-1 s, în diagramă timpul de 1 s va corespunde unui curent de

$$I = 150 \cdot \frac{15}{0{,}4} = 5600 \text{ A}.$$

În acest fel pot fi analizate pe aceeaşi diagramă curbele unor protecţii situate la tensiuni diferite, adoptînd ca referinţă valorile de curent la joasă tensiune.

5.2. Selectivitatea faţă de protecţia transformatoarelor

În analiza oricărei reţele sau instalaţii de joasă tensiune, este necesară şi verificarea selectivităţii faţă de protecţia transformatoarelor. Caracteristicile protecţiei montate pe partea de înaltă tensiune a transformatoarelor pot fi destul de variate, funcţie de aparatajul utilizat.

5.2.1. *Protecţia cu siguranţe de înaltă tensiune*

În fig. 5.6. sînt reprezentate caracteristicile de protecţie ale siguranţelor de tip FI (Electroputere) pentru 6; 10 sau 15 kV utilizate la protecţia transformatoarelor de

forță. Puterea de rupere trifazată a unui set de trei siguranțe este de 200 MVA, valoare care nu trebuie depășită de puterea de scurtcircuit a rețelei de medie tensiune.

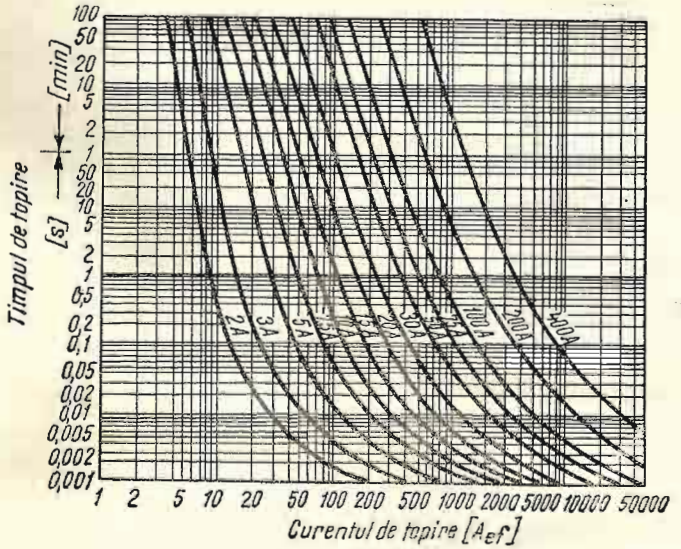


Fig. 5.6

Calibrarea siguranțelor se alege în funcție de curentul nominal al transformatorului, după formula

$$I_{n\,sig} = 1{,}8 \ldots 2\ I_{n\,tr}.$$

Analizînd selectivitatea protecției la schema reprezentată în fig. 5.7 observăm că curentul nominal pe partea de 6 kV este de 24 A, deci siguranțele S_1 se vor alege de 50 A, tip FI-6.

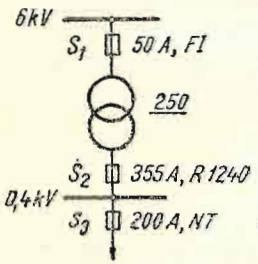


Fig. 5.7

Curentul nominal pe partea de 0,4 kV este de 360 A; siguranțele S_2 se aleg de 355 A, tip R 1240 (Siemens).

Pe plecări siguranțele S_3 se aleg cu curentul nominal de cel mult 200 A, tip NT (AEG).

S-au ales intenționat siguranțele S_3 de tip lent, pentru a avea condiții mai dificile de selectivitate.

În diagrama reprezentată în fig. 5.8 s-au trasat curbele celor trei siguranțe. Siguranțele S_2 și S_3 funcționează selectiv, întrucît:

— la 10 I_n=2000 A, avem Δt_1=4—0,4=3,6 s>1 s;
— la 20 I_n=4000 A, avem Δt_2=0,2—0,05=0,15 s>0,05 s;
— la 30 I_n=6000 A, avem Δt_3=0,04—0,02=0,02 s (la limită).

Siguranțele S_1 și S_2 sînt selective:

— la 10 I_n=3500 A, avem Δt_1=8—0,4=7,6 s>1 s;
— la 20 I_n=7000 A, avem Δt_2=4—0,02=3,98 s>0,05 s.

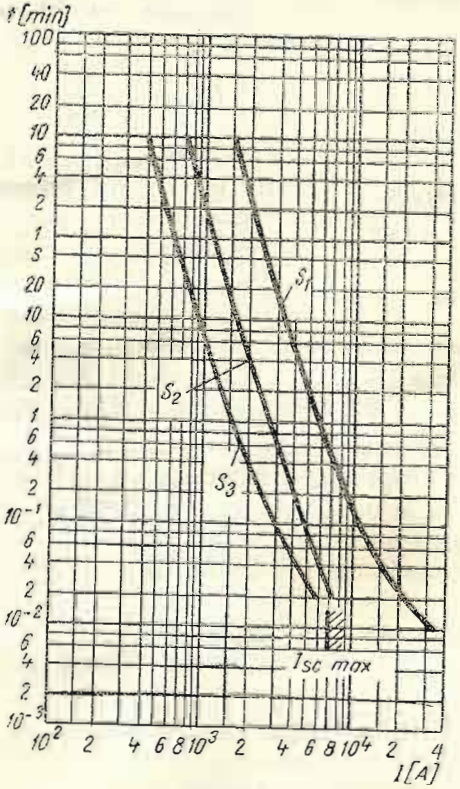


Fig. 5.8

Cercetarea selectivității se face numai pînă la valoarea curentului de 7000 A, care reprezintă curentul de scurtcircuit maxim la bara de joasă tensiune.

În concluzie, în condițiile date protecția funcționează selectiv. Dacă siguranța S_3 s-ar fi ales de 250 A, ar fi existat o selectivitate insuficientă între siguranțele S_2 și S_3.

5.2.2. *Protecția maximală rapidă tip DMI*

Se presupune schema din fig. 5.9. Reglajul protecției DMI se face la un curent de

$$I_{reglat} = 3\, I_{n\,tr} = 3 \times 24 \approx 75 \text{ A}.$$

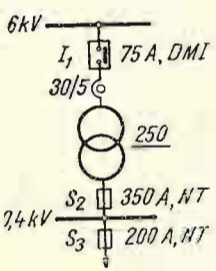


Fig. 5.9

Valoarea curentului recalculată la joasă tensiune este

$$I_{reglat} = 75\,\frac{6}{0{,}4} \approx 1\,100 \text{ A}.$$

Dispozitivul nu are temporizare, iar timpul propriu este de ordinul 50 ms.

Trasînd cele trei caracteristici în diagrama din fig. 5.10 se observă următoarele:

— siguranțele S_2 și S_3 sînt selective între ele;

— protecția DMI (I_1) este parțial neselectivă față de siguranțele S_2 și S_3 din cauza zonelor de intersecție.

Ca urmare, la un scurtcircuit la barele de 0,4 kV va declanșa întreruptorul I_1 și nu se va arde siguranța S_2. De asemenea, la un scurtcircuit în rețeaua de joasă tensiune, dacă curentul are valori cuprinse între 1100 și 7000 A, va declanșa întreruptorul I_1 și nu se va arde siguranța S_3.

În rețelele de distribuție sînt observate frecvent aceste declanșări neselective, la defecte în rețeaua de joasă tensiune.

Cauza fundamentală a acestei situații se datorează nefabricării în țară a mecanismelor de ceasornic pentru temporizarea protecției.

În Întreprinderea de Distribuție a Energiei Electrice din București (IDEB) autorul a rezolvat problema pe o cale simplă și economică.

Soluția constă în șuntarea bobinelor de declanșare cu siguranțe special calibrate (siguranțe de șuntare),

conform schemei reprezentate în fig. 5.11, unde caracteristica de protecție are o formă dependentă, conform siguranței de șuntare utilizate. Alegerea tipului de siguranță se face în funcție de datele transformatorului și

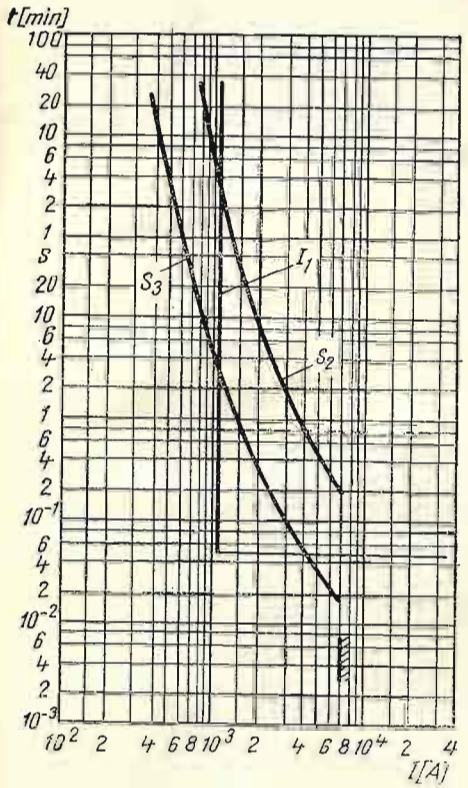


Fig. 5.10

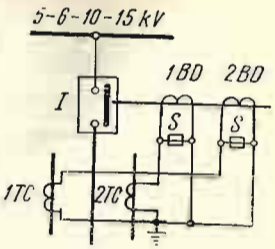


Fig. 5.11

protecția DMI devine selectivă față de siguranțele S_3 ale liniilor.

În fig. 5.12 sînt reprezentate curbele rezultate pentru schema din fig. 5.9.

Neselectivitatea între I_1 și S_2 nu prezintă dezavantaje în practică deoarece ea apare numai la scurtcircuite pe bara de joasă tensiune. Transformatorul se izolează

de defect fie prin declanşarea întreruptorului I_1, fie prin arderea siguranţelor S_2, însă reţeaua de joasă tensiune îşi pierde în orice caz alimentarea.

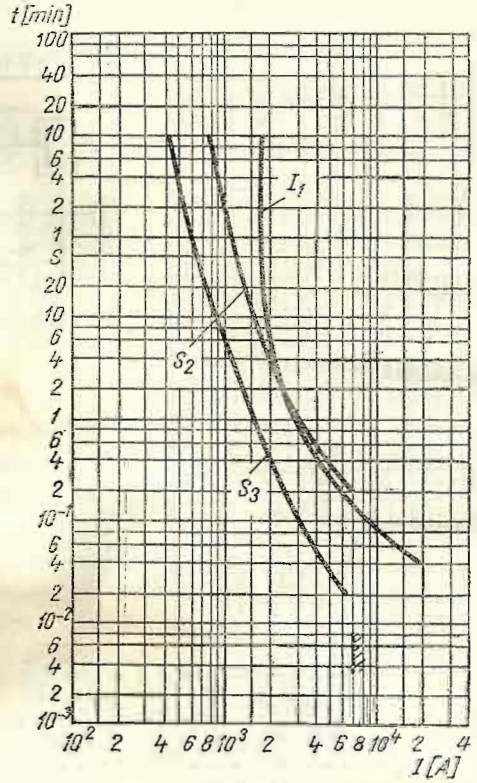


Fig. 5.12

5.2.3. *Protecţia maximală temporizată*

În cazurile mai deosebite, pe partea de înaltă tensiune se realizează o protecţie maximală temporizată, cu relee primare sau secundare, de diferite tipuri. Scopul urmărit este obţinerea unei selectivităţi prin temporizare, evitîndu-se declanşarea la scurtcircuite în reţea.

Considerînd schema reprezentată în fig. 5.9, diagrama de selectivitate s-a trasat în fig. 5.13. Din motive de eşalonare a temporizărilor în protecţia reţelei este, de

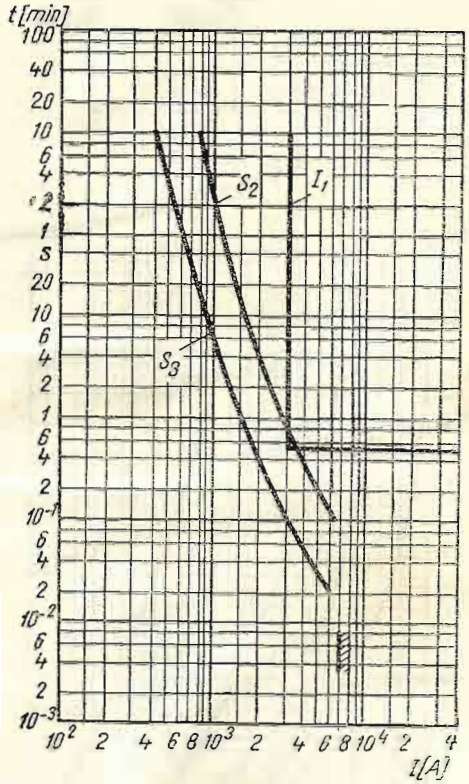


Fig. 5.13

obicei, necesar ca timpul protecţiei transformatorului să nu depăşească 0,5 . . . 1 s.

În cazul dat, reglajul de curent al protecţiei trebuie ales la aproximativ 3000 A, adică la o valoare reală de 200 A. Această valoare este destul de ridicată (de opt

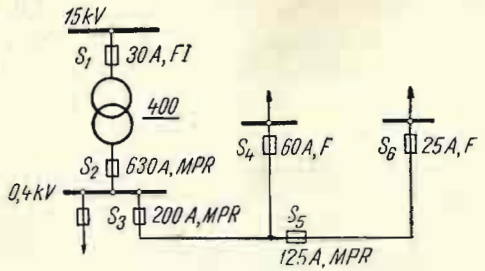


Fig. 5.14

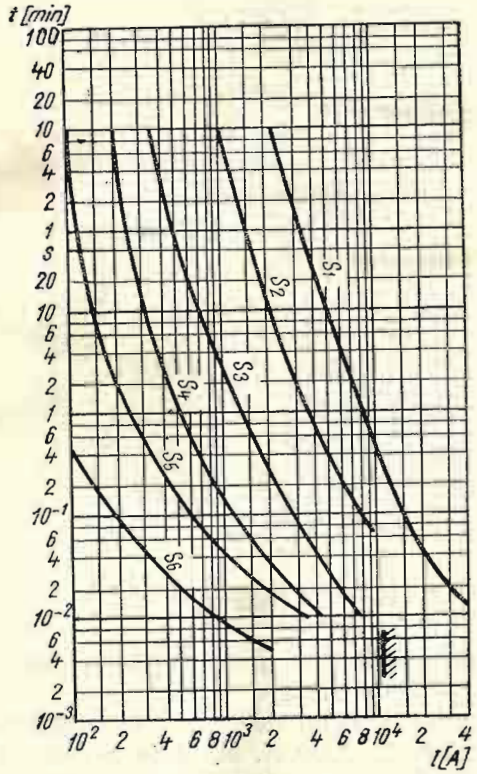


Fig. 5.15

ori curentul nominal al transformatorului). Coeficientul de sensibilitate al protecției considerînd $I_{sc} \approx 7000$ A, este

$$k_s = \frac{I_{sc}}{I_{reglaj}} = \frac{7\,000}{3\,000} = 2{,}33$$

ceea ce este satisfăcător, prescripțiile prevăzînd $k_s \geqslant 1{,}5$.

Cu reglajul de 200 A — 0,5 s se obține o bună selectivitate între I_1 și S_3 și parțial între I_1 și S_2, ultimul aspect nefiind însă esențial, așa cum s-a arătat.

Pentru obținerea unei vederi de ansamblu a selectivității protecției într-o rețea de distribuție, se consideră schema de rețea din fig. 5.14, cu o configurație radială. Toate siguranțele se consideră din țară, de tip MPR și cu filet, rapide.

Cu elementele date, se obține o selectivitate deplină (fig. 5.15). De altfel și eșalonarea în serie a siguranțelor este suficient de largă, spre a nu pune probleme deosebite.

În rețelele de distribuție pot exista și configurații mai complicate, cum ar fi rețele parțial sau complet buclate. În aceste cazuri analiza selectivității necesită studii mai dezvoltate.

6. Analiza selectivității protecției în instalațiile industriale

Față de problemele expuse ale rețelelor de distribuție, în instalațiile industriale apar situații suplimentare privind selectivitatea din următoarele motive:

— puteri instalate ridicate, deci curenți mari de scurtcircuit;

— utilizarea de întreruptoare automate;

— înserierea în circuite a întreruptoarelor automate și a siguranțelor, în diferite combinații.

6.1. Selectivitatea între două întreruptoare automate

Se consideră schema reprezentată în fig. 6.1, unde sînt înseriate întreruptoare (întreruptorul I_1, avînd curen-

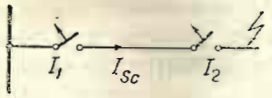


Fig. 6.1

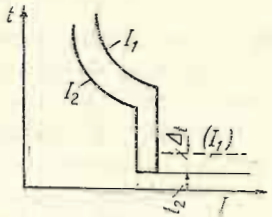


Fig. 6.2

tul nominal mai mare decît I_2). Se pune problema în ce condiţii poate fi asigurată selectivitatea la un scurtcircuit după întreruptorul I_2.

În fig. 6.2 sînt trasate caracteristicile de protecţie. Se observă că în domeniul curenţilor de suprasarcină, unde acţionează relee termice, selectivitatea este asigurată.

La curenţii de scurtcircuit mai mari, unde acţionează releele electromagnetice ale ambelor întreruptoare, acestea vor declanşa, practic, simultan la timpul propriu $t_2 \approx 50$ ms. Acest fenomen poate fi frecvent observat în exploatarea instalaţiilor.

Pentru obţinerea selectivităţii, este necesară temporizarea releelor electromagnetice ale întreruptorului I_1, fiind necesară o treaptă de timp $\Delta t = 150 \ldots 200$ ms.

Pe această cale se pot eşalona pînă la 3—4 întreruptoare înseriate. În etapa actuală, soluţia poate fi realizată numai cu aparataj de import.

6.2. Selectivitatea între un întreruptor automat şi o siguranţă

În fig. 6.3 este reprezentată legătura dintre întreruptorul I_1 şi siguranţa S_2, ultima avînd curentul nominal mai mic.

Conform diagramei reprezentate în fig. 6.4 se obţine selectivitate deplină atunci cînd caracteristicile nu se intersectează. Dacă siguranţa S_2 este prea mare (linia punctată), apare un „triunghi de neselectivitate" (haşurat), cu consecinţele de rigoare

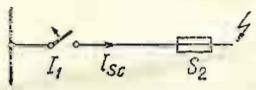


Fig. 6.3

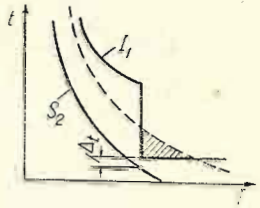


Fig. 6.4

În situaţiile de limită, este necesar ca intervalul de timp să aibă o valoare minimă $\Delta_t \approx 0{,}04$ s. În unele situaţii mai dificile, este util un întreruptor cu protecţie temporizată.

Se consideră schema din fig. 6.5, siguranţa S_1 avînd curentul nominal mai mare.

Trasînd curbele în diagrama din fig. 6.6 se constată că este aproape inevitabilă intersecţia lor. Selectivitatea

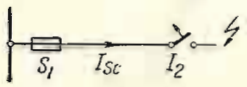


Fig. 6.5

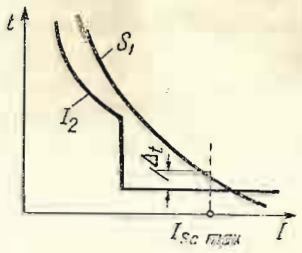


Fig. 6.6

deplină se poate obţine numai dacă punctul de intersecţie se situează la un curent mai mare decît curentul maxim de scurtcircuit după întreruptorul I_2. În cazurile limită, este necesar un interval de timp minim $\Delta_t \approx 0{,}05$ s.

Pentru exemplificarea principiilor expuse mai sus, se va considera schema de instalaţie reprezentată în fig. 6.7 unde datele aparatajului de protecţie sînt următoarele:

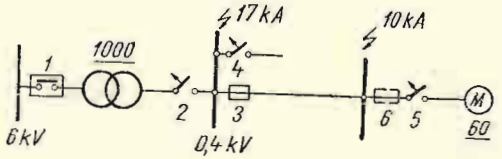


Fig. 6.7

1 — întreruptor IUP-10, cu protecţia maximală temporizată reglată la 250 A (recalculat 3750 A), temporizare 0,6 s;

2 — întreruptor M 1400; reglaj termic 1400 A; reglaj electromagnetic 6000 A, temporizare 0,2 s;

3 — siguranţă R 1240, 350 A;

4 — întreruptor M 401; reglaj termic 300 A; reglaj electromagnetic 1000 A;

5 — întreruptor DITA 100, reglaj termic 65 A, reglaj electromagnetic 500 A (întreruptorul nu corespunde în privinţa capacităţii de rupere).

În fig. 6.8 sînt reprezentate curbele şi se pot scoate în evidenţă următoarele aspecte:

— există o neselectivitate parţială între *1* şi *2*, în domeniul 3750 ... 6000 A; remediul ar fi o coborîre a reglajului la *2*, însă ar apare o neselectivitate parţială între *2* şi *3* şi deci se poate accepta un compromis prin reglarea lui *2* la 4500 A;

— între *2* şi *4* există selectivitate, deoarece *2* a fost ales intenţionat cu o temporizare de 200 ms;

— între *3* şi 5 există un domeniu neselectiv între 6000 ... 10 000 A (ultima valoare fiind curentul de scurtcircuit la 5).

Situaţia s-ar putea rezolva prin înserierea cu 5 a unei siguranţe *6* de aproximativ 125 A (punctat), care funcţionează mai rapid la curenţi peste 2000 A şi în plus

reduce solicitarea lui 5 la scurtcircuit. Această schemă este foarte uzuală la protecţia motoarelor electrice.

Un alt exemplu de instalaţie este indicat în fig. 6.9. Este caracteristică funcţionarea în paralel a celor două

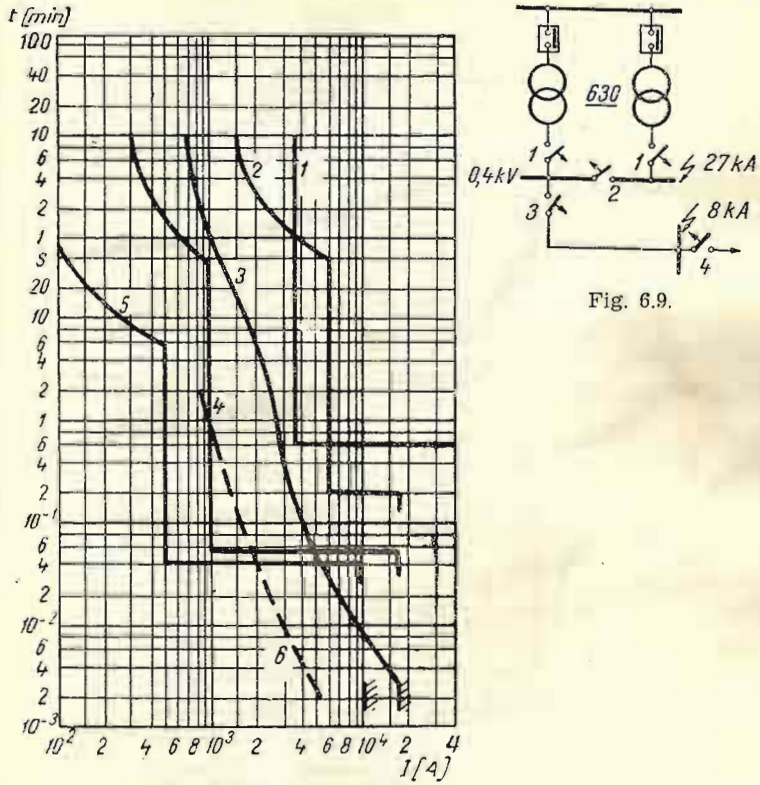


Fig. 6.8.

Fig. 6.9.

transformatoare de 630 kVA, cu o cuplă automată între secţiile de bare.

Pentru realizarea unei selectivităţi satisfăcătoare, s-au considerat următoarele aparate şi reglgaje de protecţie:

1 — tip M 1000: reglaj termic 900 A; reglaj electromagnetic 3000 A, temporizare 0,2 s;

2 — tip M 1000: reglaj electromagnetic 2500 A, temporizare 0,35 s;

3 — tip M 1000: reglaj termic 350 A; reglaj electromagnetic 1000 A, temporizare cu sistem pendular;

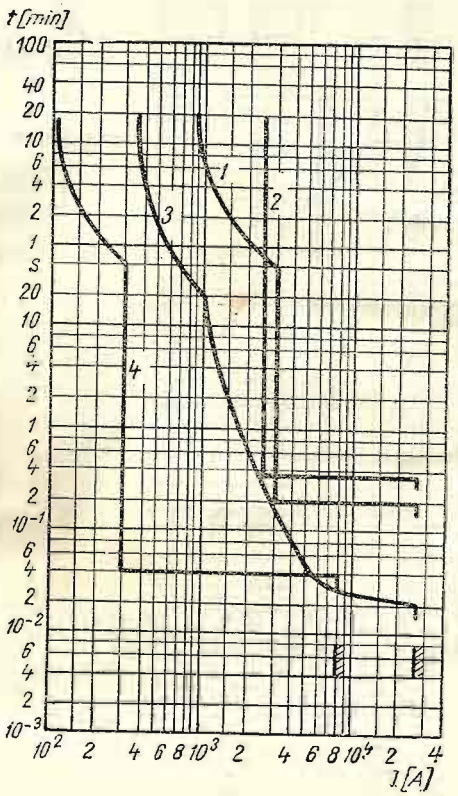


Fig. 6.10.

4 — tip M 400: reglaj termic 100 A; reglaj electromagnetic 300 A.

Curbele s-au trasat în diagrama reprezentată în fig. 6.10.

Se remarcă o intersecție parțială a curbelor 3 și 4. De asemenea, la 2500 ... 3000 A, curba 4 trece prea aproape de curbele 1 și 2.

Această situație ar putea fi acceptată, ca un risc de neselectivitate parțială în anumite zone ale curenților de scurtcircuit. Dacă se urmărește o rezolvare totală, o soluție posibilă ar fi adoptarea pentru 3 a unei temporizări independente de 0,2 s, iar 2 și 1 să fie temporizate la 0,35, respectiv 0,5 s.

În instalațiile industriale se pot întîlni o mare varietate de configurații și de sisteme de protecție. În baza exemplelor prezentate se poate verifica selectivitatea în cazurile concrete și se pot stabili măsuri pentru remedierea situațiilor deficitare.

În atenția industriei electrotehnice din țară stă în prezent fabricarea de aparataj modern, cu performanțe ridicate și caracteristici de protecție bine cunoscute, care să permită rezolvarea problemelor de selectivitate din rețelele și instalațiile de joasă tensiune.

Bibliografie

1. Aizenberg, B. L. *Protecția prin siguranțe a instalațiilor pînă la 1 000 V.* București, Editura tehnică, 1960.
2. Badea, I. ș.a. *Protecția și automatizarea sistemelor electrice.* București, Editura tehnică, 1963.
3. STAS 4173-53: *Siguranțe unipolare cu mîner pînă la 600 A și 500 V.*
4. STAS 452-66: *Siguranțe unipolare cu filet pînă la 100 A-500 V.*
5. STAS 4197-67: *Siguranțe unipolare cu filet. Patroane fuzibile și piese de contact.*
6. Prospect MEEIE: *Siguranțe unipolare cu mîner și furci.*
7. *Catalog de produse al fabricii Electroaparataj, 1963 și 1971.*
8. *Catalog de produse al uzinei Electroputere, 1960.*
9. VDE 0635/3.63: *Vorschriften für Leitungsschutzsicherungen mit geschlossenem Schmelzeinsatz, 500 V und bis 200 A.*
10. STAS 558-60: *Aparate de conectare pînă la 1000 V c.a., 1 200 V c.c. și 3150 A.*
11. STAS 4479-67: *Contactoare în aer și ulei pînă la 1000 V c.c. 1200 V c.c. și 3150 A.*
12. STAS 4480-68: *Întreruptoare automate în aer și ulei de curent alternativ și continuu pînă la 1000 V c.a. 1200 V c.c. și 3150 A.*
13. VDE 0660/4.68: *Regeln für Schaltgeräte bis 1000 Wechselspannung* (für Steuerschalter bis 10 kV Wechselspannung) und 3000 V Gleichspannung.
14. Anastasiev, P. I. și Frolov, I. A. *Linii electrice aeriene cu tensiunea pînă la 1 000 V.* București, Editura tehnică, 1964.
15. *Normativ pentru proiectarea, executarea și recepționarea lucrărilor de instalații electrice cu tensiuni pînă la 1 000 V, la construcții civile și industriale* (Indicativ I.7-62), București, CSCAS, 1962.
16. *Protecția prin relee a transformatoarelor.* București, IDT, 1963.
17. STAS 4173-67: *Siguranțe rapide cu mare putere de rupere.*
18. STAS 440-62: *Transformatoare de putere, trifazate, în ulei.*

Cuprins

Prefață 3
1. **Siguranțe fuzibile** 5
   1.1. Considerații generale 5
   1.2. Siguranțe fuzibile fabricate în țară 6
      1.2.1. Siguranțe deschise cu mîner 6
      1.2.2. Siguranțe tubulare deschise 10
      1.2.3. Siguranțe tubulare închise 11
      1.2.4. Siguranțe închise cu mediu de stingere 12
   1.3. Siguranțe fuzibile de fabricație străină 21
      1.3.1. Siguranțe unipolare cu filet 22
      1.3.2. Siguranțe cu mare putere de rupere (NH) . . 24
2. **Întreruptoare automate** 31
   2.1. Considerații generale 31
   2.2. Întreruptoare fabricate în țară 32
      2.2.1. Întreruptoare automate monopolare 33
      2.2.2. Contactoare cu relee în ulei 34
      2.2.3. Contactoare cu relee în aer 35
      2.2.4. Întreruptoare automate în aer 38
      2.2.5. Caracteristicile elementelor de protecție 42
   2.3. Întreruptoare de fabricație străină 44
      2.3.1. Întreruptoare automate tip Elfa (AEG) 44
      2.3.2. Întreruptoare automate tip M (AEG) 47
3. **Protecția elementelor din rețele și instalații** 55
   3.1. Considerații generale 55
   3.2. Protecția liniilor aeriene 56
   3.3. Protecția cablurilor 59
   3.4. Protecția coloanelor montate în tuburi 59
   3.5. Protecția motoarelor electrice 66
   3.6. Protecția transformatoarelor 71
   3.7. Protecția condensatoarelor 74
4. **Calculul curenților de scurtcircuit** 75
   4.1. Generalități 75
   4.2. Determinarea elementelor de calcul 77
   4.3. Metoda de calcul 80
   4.4. Exemple de calcul de scurtcircuit 82
5. **Analiza selectivității protecției în rețele de distribuție** . . 89
   5.1. Selectivitatea acționării a două siguranțe 89
   5.2. Selectivitatea față de protecția transformatoarelor . . 95
      5.2.1. Protecția cu siguranțe de înaltă tensiune . . . 95
      5.2.2. Protecția maximală rapidă tip DMI 98
      5.2.3. Protecția maximală temporizată 100
6. **Analiza selectivității protecției în instalațiile industriale** . 103
   6.1. Selectivitatea între două întreruptoare automate . . . 104
   6.2. Selectivitatea între un întreruptor automat și o siguranță 104
Bibliografia 110